

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv zatížení klimatickými teplotami na ocelové halové objekty

Influence of climatic thermal actions on steel halls

Student:

Veronika Šnajdrová

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vít Křivý, Ph.D.

Ostrava, 2012

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypravovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 27.4.2012

.....
Veronika Šnajdrová

Prohlašuji, že

- Byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle č. 111 / 1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 27.4.2012

.....
Veronika Šnajdrová

Anotace bakalářské práce

Bakalářská práce se zabývá posouzením konstrukce haly, která byla vystavena prudkému poklesu teplot, a také vlivem teplotního zatížení na prvky této konstrukce. Hala se nachází v Tachově, okres Tachov, stát Česká republika. Textová část bakalářské práce má 82 stran.

Klíčová slova: Halová konstrukce, teplotní zatížení, posouzení únosnosti, 3D model, Scia Engineering

Annotation of bachelor's thesis

The primary focus of my bachelors's essay is the assessment of hall construction, which was exposed to rapid temperature decline and also to multifarious effects of temperature strain on the elements of the construction. Hall is located in Tachov, Tachov county, state- the Czech Republic. The written part of bachelor's essay is 82 pages long.

Keywords: Hall structure, temperature load, analysis of bearing-capacity, 3D model, Scia Engineering

OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

1.	ÚVOD	- 4 -
1.1.	Popis konstrukce	- 4 -
2.	Vliv ochlazení konstrukce	- 6 -
2.1.	Výpočetní model konstrukce	- 7 -
3.	Fyzikální veličiny a značky použité při výpočtu	- 8 -
4.	Výpočet zatížení	- 10 -
4.1.	Zatížení stálé – střešní plášť	- 10 -
4.2.	Zatížení užité – pod střechou	- 11 -
4.3.	Zatížení sněhem	- 12 -
4.4.	Zatížení větrem	- 14 -
4.4.1.	Tlak větru na střešní konstrukci:	- 15 -
4.4.2.	Výsledné tlaky větru na střešní plášť:	- 17 -
5.	Posouzení příhradového vazníku bez vlivu změny teploty	- 20 -
5.1.	Posudek prutů vazníku	- 20 -
5.1.1.	Určení vzpěrných délek	- 20 -
5.1.2.	Posudek výplňových prutů na tahové namáhání	- 21 -
5.1.3.	Posudek výplňových prutů na tlakové namáhání	- 22 -
5.1.4.	Posouzení horního pásu H	- 27 -
5.2.	Posouzení únosnosti podélného ztužidla	- 32 -
5.2.1.	Horní rozpěrné pruty	- 34 -
5.2.2.	Dolní rozpěrné pruty	- 35 -
5.3.	Posouzení únosnosti šroubového spoje rozpěrná trubka – vazník	- 36 -
5.3.1.	Posouzení únosnosti spoje ve stříhu	- 37 -
5.3.2.	Posouzení únosnosti v otláčení	- 38 -
6.	Posouzení příhradového vazníku s vlivem změny teploty	- 39 -
6.1.	Posudek prutů vazníku	- 40 -

6.1.1.	Určení vzpěrných délek.....	- 40 -
6.1.2.	Posudek prutů na tahové namáhání.....	- 40 -
6.1.3.	Posudek prutů na tlakové namáhání.....	- 42 -
6.1.4.	Posouzení horního pásu H.....	- 45 -
6.1.4.1.	Kombinace $N_{Ed} + M_{y,Ed}$	- 45 -
6.1.4.2.	Kombinace $N_{Ed} + M_{z,Ed}$	- 48 -
6.2.	Posouzení únosnosti podélného ztužidla.....	- 50 -
6.2.1.	Horní rozpěrné pruty.....	- 51 -
6.2.2.	Dolní rozpěrné pruty.....	- 53 -
6.3.	Posouzení únosnosti šroubového spoje rozpěrná trubka – vazník.....	- 54 -
7.	Porovnání výsledků bez vlivu změny teploty a s vlivem teploty.....	- 57 -
7.1.	Změna vnitřních sil vlivem ochlazení.....	- 57 -
7.1.1.	Účinky ochlazení v příčném směru.....	- 57 -
7.1.2.	Účinky ochlazení v podélném směru.....	- 59 -
7.2.	Změna deformací vlivem ochlazení.....	- 62 -
8.	ZÁVĚR.....	- 65 -
9.	Příloha.....	- 66 -
9.1.	Výpis kombinací zatěžovacích stavů.....	- 66 -
9.1.1.	Bez teplotního zatížení.....	- 66 -
9.1.2.	S teplotním zatížením.....	- 67 -
9.2.	Normálové síly na prutech vazníku.....	- 68 -
9.2.1.	Bez teplotního zatížení.....	- 68 -
9.2.2.	S teplotním zatížením:.....	- 73 -
10.	Seznam použitých norem a podkladů.....	- 77 -
10.1.	Normy.....	- 77 -
10.2.	Podklady.....	- 77 -
10.3.	Další zdroje.....	- 78 -

10.4.	Použité programové vybavení.....	- 78 -
11.	Seznam tabulek a obrázků.....	- 79 -
11.1.	Seznam tabulek	- 79 -
11.2.	Seznam obrázků	- 79 -

1. ÚVOD

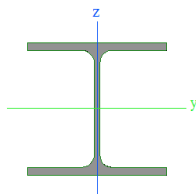
Posuzovaná konstrukce haly se nachází v Tachově. Při výstavbě byla ocelová hala vystavena nejen zatížení vlastní tíhou konstrukce, užitému zatížení, zatížení sněhem, ale také značnému poklesu teplot. Tato kombinace zatížení způsobila nadměrné změny napjatosti prvků konstrukce. Konstrukce havarovala.

Následující posudek se zabývá doplněním statického výpočtu o vliv náhlé změny teploty na změnu napjatosti prvků konstrukce.

1.1. Popis konstrukce

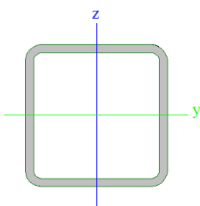
Konstrukce se skládá z ocelových vazníků podélně ztužených rozpěrnými trubkami. Vazníky jsou uloženy na železobetonové konstrukci. Železobetonovou konstrukci tvoří sloupy čtvercového průřezu ($600 \times 600 \text{ mm}$). Sloupy podpírají vazníky na obou stranách a jsou součástí štítové stěny haly. Zastřešení haly je tvořeno systémem sedlových vazníků o rozpětí 34,8 m s výškou ve středu rozpětí 2,37 m. V podélném směru je umístěno celkem 12 vazníků po vzdálenosti 6 m.

Horní pásy příhradového vazníku jsou navrženy z profilu HEA 200, dolní pásy jsou navrženy z profilu HEA 160. Diagonály a svislice jsou navrženy ze čtvercových trubek. Použitá je ocel třídy S355.



Obr. 1: Příklad průřezu profilu - profil HEA 200

Vazník staticky působí jako prostý nosník – na jedné straně je uložen kloubově bez umožnění posunu, na druhé straně jako posuvný kloub. Vazník je navržen ze tří montážních dílců, které jsou vzájemně spojeny šroubovanými přírubovými spoji. Dílenské spoje prvků vazníku jsou navrženy jako svařované.

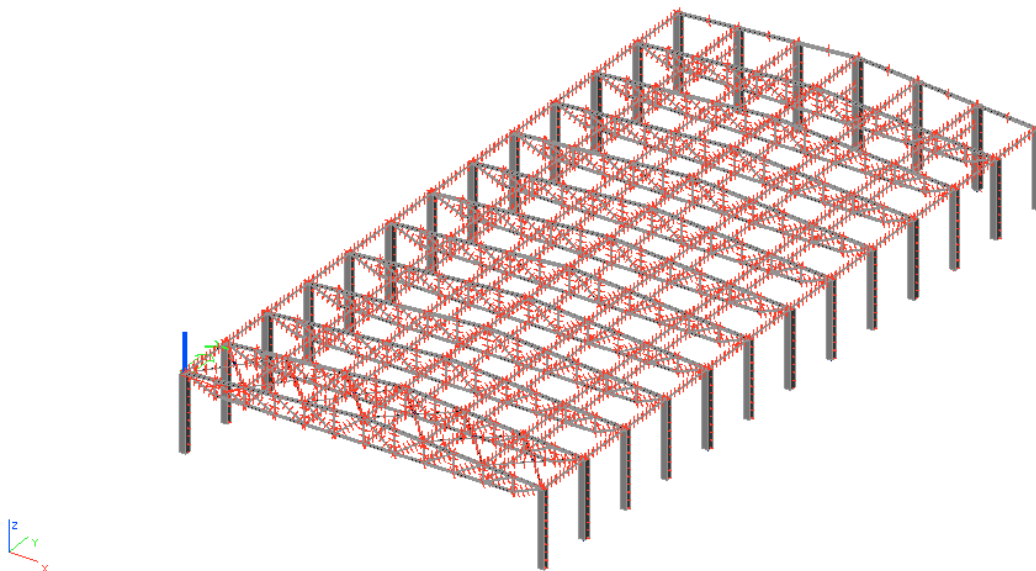


Obr. 2: Profil čtvercové trubky

Nosnou částí střešního pláště jsou trapézové plechy CB 160/250/0,75 [14]. Střecha je navržena jako bezvaznicový systém. Horní i dolní pásy vazníku jsou vzájemně rozeprýeny trubkovými profily, připojenými k vazníku pomocí dvojice šroubů M12-5.6 namáhanými na smyk. Rozpěrné prvky jsou na jedné straně haly kotveny pomocí chemických kotev do železobetonových sloupů štítové stěny. Rozpěry horního pásu jsou na druhé straně haly součástí příčného ztužidla umístěného v krajním poli. Půdorysná vzdálenost rozpěr horního i dolního pásu je 5800 mm (každý druhý styčník vazníku). Diagonály příčného střešního ztužidla jsou navrženy z táhel z kulatiny M24. Diagonály jsou opatřeny napínákovými maticemi.

2. Vliv ochlazení konstrukce

Předpokládá se ochlazení o $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, což odpovídá maximálnímu rozdílu mezi montážní teplotou $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a minimální teplotou $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, která před havárií působila na ocelovou konstrukci viz. [8].



Obr. 3: Zatížení teplotou na ocelovou halu

V příčném směru jsou vazníky navrženy jako prosté nosníky s jednou posuvnou podporou. Ochlazení konstrukce nevyvolává v prvcích změnu napjatosti, pouze dochází k příčnému zkrácení konstrukce.

V podélném směru jsou vazníky drženy rozpěrnými trubkami, které jsou kloubově připojeny k vazníkům pomocí dvojice šroubů M12-5.6 namáhaných na smyk. Rozpěrné prvky jsou na jedné straně haly kotveny do železobetonových sloupů štítové stěny v krajní řadě. Rozpěry horního pásu jsou na druhé straně haly součástí příčného střešního ztužidla umístěného v krajním poli. Půdorysná vzdálenost rozpěr horních i dolních pásů je 5800 mm.

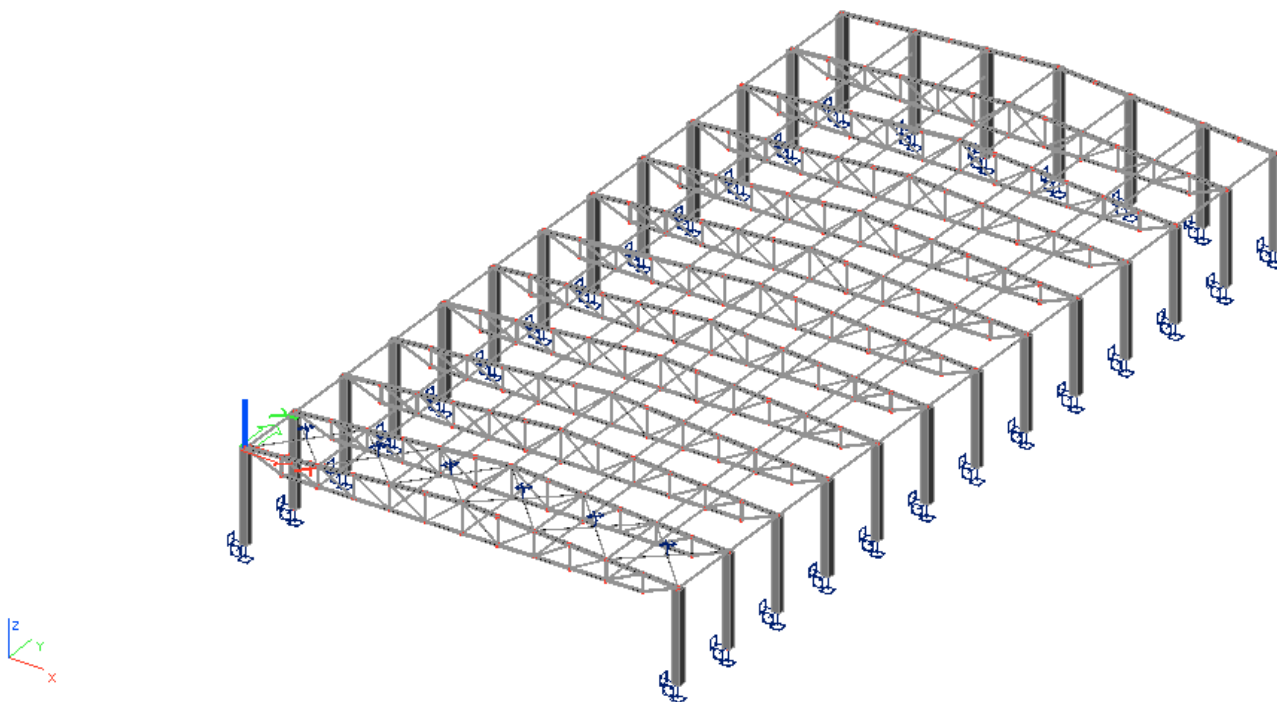
V podélném směru vyvolá ochlazení změnu deformace i napjatosti. Aby bylo možno dostatečně výstižně stanovit vliv ochlazení na nosné prvky ocelové konstrukce, bylo potřeba vytvořit prostorový model konstrukce.

Rovnoměrné ochlazení konstrukce o $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyvolá v nosných prvcích konstrukce nezanedbatelnou změnu napjatosti a deformace.

Účinky teplotního ochlazení je pravděpodobně nejvíce ovlivněn šroubový spoj, kterým jsou připojeny rozpěrné trubky k hornímu pásu vazníku. Maximální namáhání spoje by tedy mohlo převýšit návrhovou únosnost spoje ve střihu.

2.1. Výpočetní model konstrukce

Model je prostorový a byl vytvořen v programu Scia Engineer 2008. Vazníky jsou modelovány s průběžnými horními i dolními pásy a s rámovým spojením prutů ve styčnicích. Uložení vazníků v příčném směru je u jedné podpory kloubově neposuvné, u druhé podpory kloubově posuvné. V podélném směru (kolmo k rovině vazníku) se předpokládá kloubové uložení.



Obr. 4: 3D model konstrukce haly

Rozpěrné trubky jsou modelovány s klouby v místě uchycení k vazníkům. Uložení rozpěrných trubek na sloupy štitové stěny je modelováno jako kloubové.

Vnitřní síly a deformace jsou počítány lineárním výpočtem.

3. Fyzikální veličiny a značky použité při výpočtu

A_s	plocha jádra šroubu
C_1, C_2, C_3	součinitel závisející na typu uložení prutu
C_{my}	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
F_{Ed}	návrhová hodnota síly ve šroubu
$F_{v,Rd}$	návrhová únosnost šroubu ve střihu
$F_{b,Rd}$	návrhová únosnost šroubu v otláčení
I_t	moment tuhosti v kroucení
I_w	výsečový moment setrvačnosti
I_z	moment setrvačnosti k ose z
L_{cr}	vzpěrná délka prutu
M_{cr}	pružný kritický moment
N_{Ed}	návrhová hodnota normálové síly
N_{Ek}	charakteristická hodnota normálové síly
N_{Rd}	návrhová hodnota únosnosti v tlaku
N_{Rk}	charakteristická hodnota únosnosti v tlaku
$N_{t,Rd}$	návrhová hodnota únosnosti v tahu
$W_{y,El}$	elastický modul průřezu
$W_{y,Pl}$	plastický modul průřezu
d_0	průměr díry
e_1	vzdálenost středů otvorů spojovacích prostředků
f_u	mez pevnosti oceli v tahu
f_{ub}	mez pevnost pro šrouby
f_y	mez kluzu oceli
f_{yb}	mez kluzu pro šrouby
g_d	návrhové stálé zatížení
g_k	charakteristické stálé zatížení
k_w, k_z	součinitel vzpěrné délky
k_{yy}, k_{zy}	součinitelé interakce

q_d	návrhové proměnné zatížení
q_k	charakteristické proměnné zatížení
t_f	tloušťka pásnice
h	výška průřezu
A	plocha průřezu
E	modul pružnosti oceli v tahu a tlaku
G	modul pružnosti oceli ve střihu
I	moment setrvačnosti průřezu
L	délka prutu
b	šířka průřezu
c	výška části průřezu
d	průměr šroubu
t	tloušťka
γ_{M1}	dílčí součinitel průřezu při posuzování stability prutu
γ_{M2}	dílčí součinitel průřezu při posuzování v tahu
γ_g	dílčí součinitel stálých zatížení
γ_q	dílčí součinitel proměnných zatížení
$\bar{\lambda}$	poměrná štíhlost
λ_{LT}	kritická štíhlost při klopení
μ_{cr}	bezrozměrný kritický moment
σ_{cr}	kritické napětí
χ_{wt}	berozměrný parametr kroucení
$\chi_y, \chi_z, \chi_{LT}$	součinitel ztráty stability v rovině a z roviny a při klopení
ϕ_{LT}	imperfekce ve tvaru globálního počátečního naklonění při klopení
α	podíl tlačené části průřezu
λ	kritická štíhlost při vzpěru
χ	součinitel vzpěru
ϕ	imperfekce ve tvaru globálního počátečního naklonění

4. Výpočet zatížení

4.1. Zatížení stálé – střešní plášť

Střešní plášť se skládá z vrstev tepelné izolace ISOVER, hydroizolace a trapézových plechů. Přenos zatížení je uskutečněn přes trapézový plech tloušťky 0,75 mm.

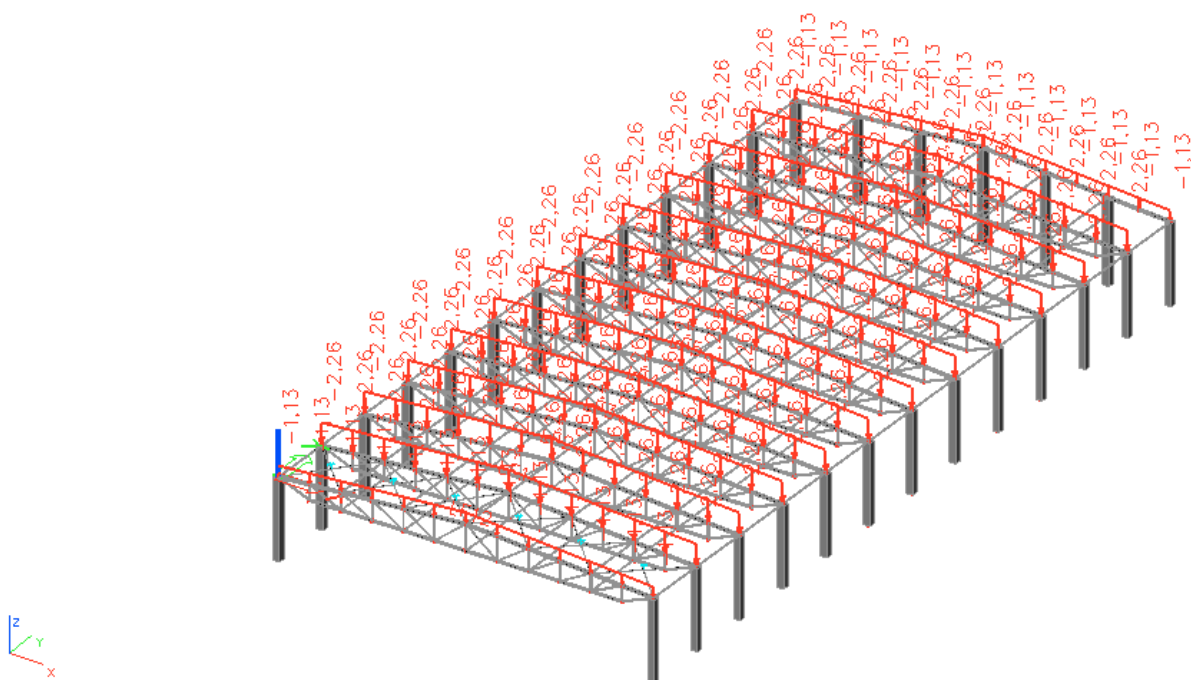
Návrhové zatížení je zadáváno jako spojitě zatížení (kN/m') na horním pásu. Zatěžovací šířka je rovna vzdálenosti mezi vazníky 6,0 m. Součinitel zatížení $\gamma_g = 1,35$.

Skladba pláště:

- Hydroizolační folie s 10 % přesahem, tl. 1,5 mm
- Tepelná izolace Isover S, tl. 80 mm
- Tepelná izolace Isover P, tl. 100 mm
- Trapézový plech CB 160/250, tl. 0,75 mm

Položka	Hmotnost	Jednotka	Charakteristická hodnota zatížení	Návrhová hodnota
	-	-	q_k (kN/m ²)	q_d (kN/m ²)
Hydroizolace	0,14	kg/m ²	0,023	0,031
Tepelná izolace, tl. 80 mm	1,44	kN/m ³	0,115	0,155
Tepelná izolace, tl. 100 mm	1,10	kN/m ³	0,110	0,149
Folie	-	-	0,010	0,014
Trapézový plech	11,78	kg/m ²	0,119	0,161
Celkem			0,377	0,509
			q_k (kN/m')	q_d (kN/m')
Celkem se zatěžovací šířkou			2,262	3,054

Tab. 1: Výpočet zatížení střešního pláště



Obr. 5: Stálé zatížení od tlhy střešního pláště

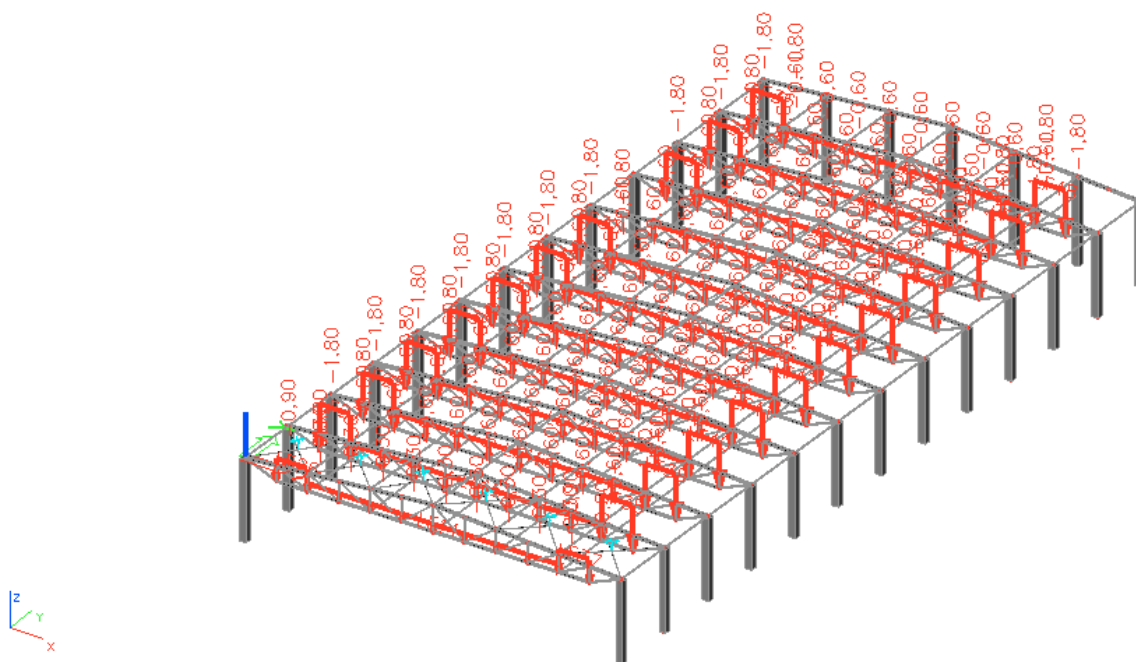
4.2. Zatížení užité – pod střechou

Střecha je nepřístupná s výjimkou oprav (kategorie H). Užité zatížení působí na dolní pás vazníku. Na krajních polích je hodnota zatížení větší z důvodů uložení vzduchotechniky.

Návrhové zatížení je zadáváno jako spojité zatížení (kN/m^2) na dolním pásu. Zatěžovací šířka je rovna vzdálenosti mezi vazníky 6,0 m. Součinitel zatížení $\gamma_q = 1,5$.

Položka	Hmotnost	Jednotka	Charakteristická hodnota zatížení	Návrhová hodnota
	-	-	$q_k \text{ (kN/m)}$	$q_d \text{ (kN/m)}$
Vzduchotechnika	0,3	kN/m^2	1,800	2,700
Technické zařízení	0,1	kN/m^2	0,600	0,900

Tab. 2: Výpočet užitého zatížení



Obr. 6: Užitné zatížení pod střechou

4.3. Zatížení sněhem

Hala se nachází na hranici sněhové oblasti III a IV (v Tachově). Ve shodě s výpočtem [10] je uvažována sněhová oblast III. Součinitel zatížení $\gamma_f = 1,5$.

Sněhová oblast III: $s_k = 1,50 \text{ kN/m}^2$

Součinitel expozice: $C_e = 1,00$

Tepelný součinitel: $C_t = 1,00$

Sklon střechy: $\alpha = 3^\circ$

Tvarový součinitel: $\mu_1 = 0,8$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem: $s_{k,1} = \mu_1 \cdot C_t \cdot C_e \cdot s_k = 1,20 \text{ kN/m}^2$

$$s_{k,2} = 0,5 \cdot \mu_1 \cdot C_t \cdot C_e \cdot s_k = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

Návrhová hodnota (vynásobená zatěžovací šířkou): $s_{d,1} = 6,0 \cdot s_{k,1} \cdot \gamma_q = 7,20 \text{ kN/m}$

$$s_{d,1} = 0,5 \cdot 6,0 \cdot s_{k,1} \cdot \gamma_q = 3,60 \text{ kN/m}$$

4.4. Zatížení větrem

Zatížení větrem na stavby s plochou střechou se posuzuje dle normy ČSN EN 1991-1-4 pro sklony střechy v rozmezí $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$.

4.4.1. *Určení základního dynamického tlaku větrem:*

Výška střechy: $h = 8,95 \text{ m}$

Kategorie terénu: III

Výchozí rychlost větru: $v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$

Parametr drsnosti terénu: $z_0 = 0,3 \text{ m}$

Min. výška pro kategorii terénu: $z_{min} = 5,0 \text{ m}$

Součinitel směru větru: $C_{dir} = 1,0$

Součinitel ročního období: $C_{season} = 1,0$

Základní rychlost větru:

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Referenční výšky: $h = 8,95 \rightarrow z_e = z_i = 8,95 \text{ m}$

Určení součinitele drsnosti:

$$\text{Součinitel terénu: } k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,III}} \right)^{0,07} = 0,19 \left(\frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215$$

$$\text{Porovnání výšek: } z = \max \left\{ \begin{matrix} h = 8,95 \\ z_{min} = 5 \end{matrix} \right\} = 8,95 \text{ m}$$

$$\text{Součinitel drsnosti terénu: } c_r(z) = k_r \ln \frac{z}{z_0} = 0,215 \cdot \ln \frac{8,95}{0,3} = 0,731$$

$$\text{Součinitel orografie: } c_0(z) = 1,0$$

Charakteristická střední rychlost větru:

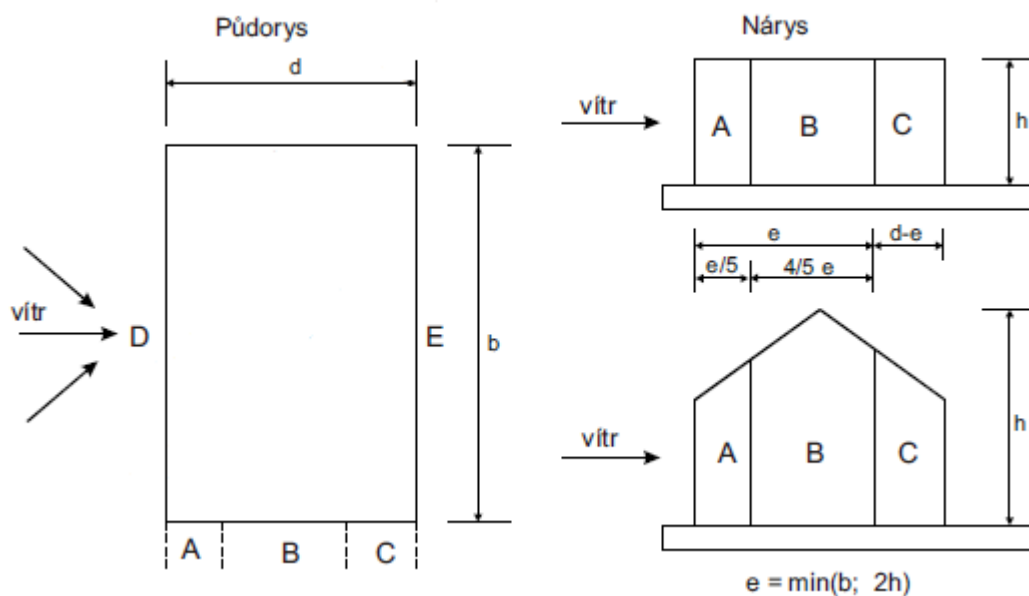
$$v_m(z) = c_r(z) c_0(z) v_b(z) = 0,731 \cdot 1,0 \cdot 25 = 18,285 \text{ m/s}$$

$$\text{Intenzita turbulence: } I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{8,95}{0,3}} = 0,294$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2 = [1 + 7 \cdot 0,294] \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 18,285^2$$

$$q_p(z) = 0,640 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 9: Označení ploch u svislých stěn

4.4.2. Tlak větru na střešní konstrukci:

Výsledný tlak větru na střešní konstrukci:

$$w_k = w_e + w_i \text{ (vektorový součet)}$$

$$w_k = 0,64 \cdot (c_{pe} - c_{pi}) [\text{kN/m}^2]$$

Součinitele vnějšího tlaku – příčný vítr

Střešní plocha vystavená působení větru $> 10,0 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe,10}$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(66,5; 2 \cdot 8,95) = 17,9 \text{ m}$$

$$c_{pe,10}^{F-} = -1,8$$

$$c_{pe,10}^{G-} = -1,2$$

$$c_{pe,10}^{H-} = -0,7$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0,2$$

Součinitele vnějšího tlaku – podélný vítr

Střešní plocha vystavená působení větru $> 10,0 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$

$$e = \min(b; 2 \cdot h) = \min(102; 2 \cdot 8,95) = 17,9 \text{ m}$$

$$c_{pe,10}^{F-} = -1,8$$

$$c_{pe,10}^{G-} = -1,2$$

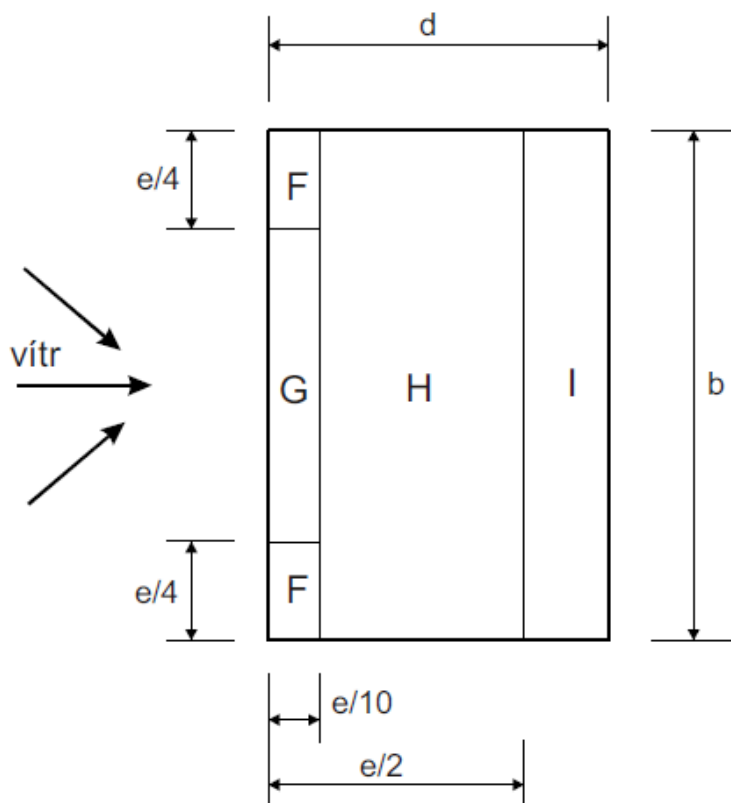
$$c_{pe,10}^{H-} = -0,7$$

$$c_{pe,10}^{I-} = -0,2$$

Součinitele vnitřního tlaku:

$$c_{pi,10}^{-} = -0,3$$

$$c_{pi,10}^{+} = +0,2$$



Obr. 10: Označení ploch u plochých střech

4.4.3. Výsledné tlaky větru na střešní plášť:

Příčný i podélný vítr, $c_{pi,10}^+ = +0,2$

Charakteristické hodnoty:

$$w_k^{F-} = 0,64 \cdot (-1,8 - 0,2) = -1,28 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_k^{G-} = 0,64 \cdot (-1,2 - 0,2) = -0,896 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_k^{H-} = 0,64 \cdot (-0,7 - 0,2) = -0,576 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_k^{I-} = 0,64 \cdot (-0,2 - 0,2) = -0,256 \text{ kN/m}^2 \quad (\uparrow)$$

$$w_k^{A-} = 0,64 \cdot (-1,2 - 0,2) = -0,896 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{B-} = 0,64 \cdot (-0,8 - 0,2) = -0,64 \text{ kN/m}^2$$

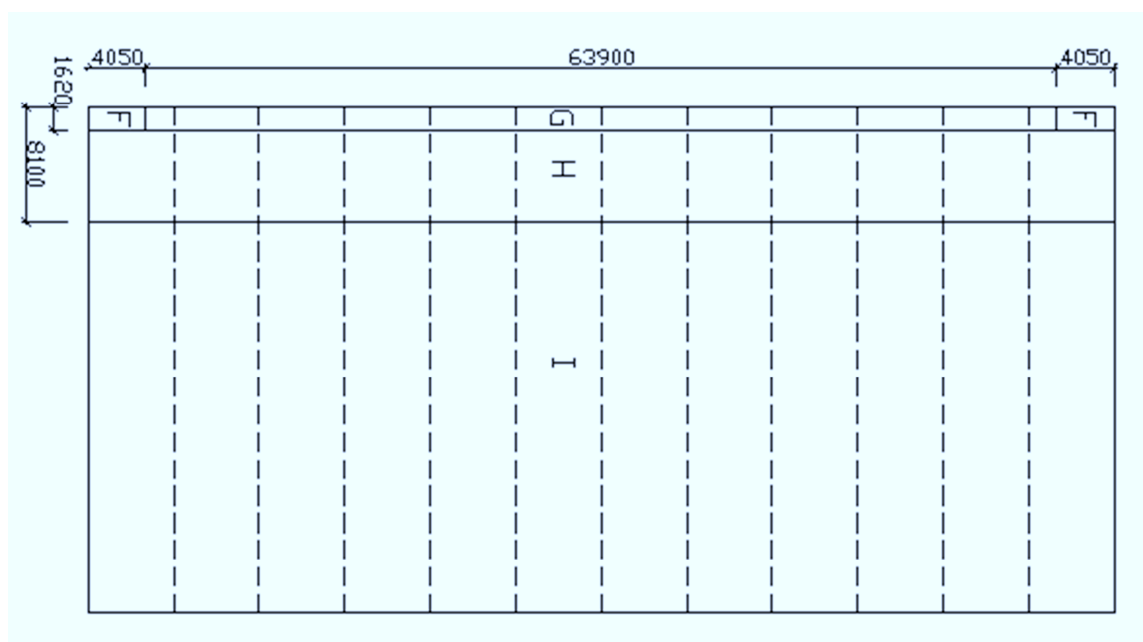
$$w_k^{C-} = 0,64 \cdot (-0,5 - 0,2) = -0,448 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{D-} = 0,64 \cdot (0,7 + 0,3) = 0,64 \text{ kN/m}^2$$

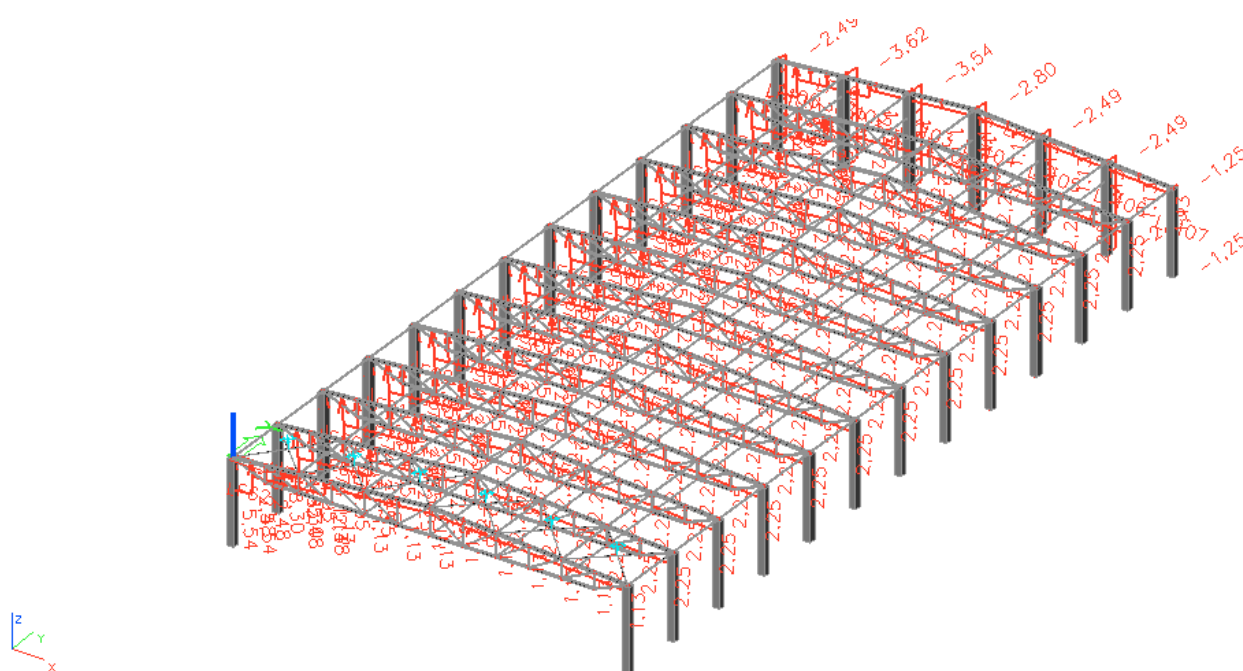
$$w_k^{E-} = 0,64 \cdot (-0,3 - 0,2) = -0,32 \text{ kN/m}^2$$

Položka	Charakteristická hodnota zatížení	Návrhová hodnota
	$w_k \text{ (kN/m}^2\text{)}$	$w_d \text{ (kN/m)}$
w_k^{F-}	-1,280	-11,520
w_k^{G-}	-0,896	-8,064
w_k^{H-}	-0,576	-5,184
w_k^{I-}	-0,256	-2,304
w_k^{A-}	-0,896	-8,064
w_k^{B-}	-0,640	-5,760
w_k^{C-}	-0,448	-4,032
w_k^{D-}	0,640	5,760
w_k^{E-}	-0,320	-2,880

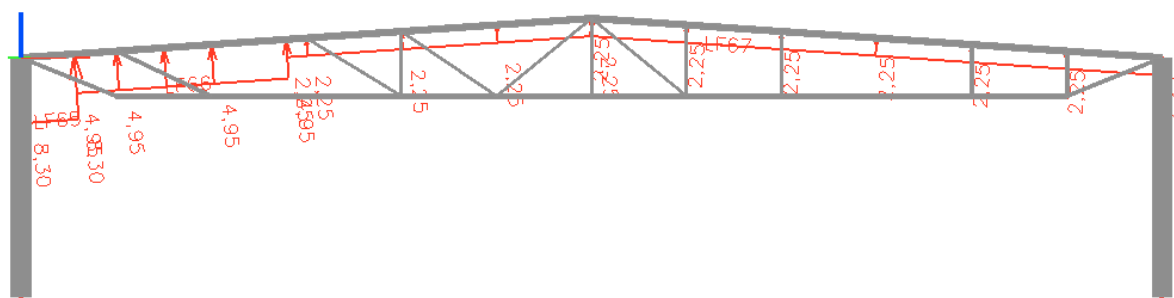
Tab. 4: Zatížení větrem



Obr. 11: Rozložení oblastí na střeše pro příčný a podélný vítr



Obr. 12: Zatížení větrem



Obr. 13: Zatížení větrem na jednom z vazníků

Zatěžovací stav větrem nebyl zahrnut do výpočtu z několika důvodů:

- Tlak větru na střešní konstrukci působí vztlakem → odlehčuje
- Zatěžovací stav větrem nebyl uvažován ve výpočtu po havárii (viz [10])
- Hala je zastavěna sousedními objekty → tlak větru působí pouze na štítovou stěnu

5. Posouzení příhradového vazníku bez vlivu změny teploty

Pro výpočet byly uvažovány následující zatížení v době havárie:

- vlastní tíha konstrukce
- stálé zatížení
- užité zatížení pod střechou
- sníh celý

Zatížení jsou modelována jako spojitá na horní pás, v případě užitého zatížení na spodní pás vazníku. V krajních vaznících jsou veškerá spojitá zatížení o polovinu menší, z důvodu poloviční roznášecí šířky, než mezi vazníky uvnitř haly.

5.1. Posudek prutů vazníku

5.1.1. Určení vzpěrných délek

Trubkový vazník		
Horní pás	v rovině	$1,0 \cdot \text{vzdálenost uzlů}$
Dolní pás	z roviny	vzdálenost svislého ztužení
Vnitřní pruty	v rovině	$0,75 \cdot \text{vzdálenost spojů}$
	z roviny	

Tab. 5: Vzpěrné délky prutů příhradových vazníků

Dolní pás je z roviny vazníku zajištěn sloupy a podélným ztužením mezi vazníky. Vzpěrná délka spodního pásu je tedy 5,8 m.

Horní pás vazníku je dostatečně stabilizován střešním pláštěm proti vybočení z roviny, jak je uvedeno ve znaleckém výpočtu [1]. Proto není potřebné posuzovat jej na účinky vzpěru z roviny (rozhodující kritérium mezního stavu únosnosti je kombinace $N_{Ed} + M_{y,Ed}$). Vzpěrná délka horního pásu v rovině je 2,9 m.

Prut	Profil	L	$L_{cr,y}/L$	$L_{cr,y}$
		m		m
S	HEA 160	5,800	-	5,800
H	HEA 200	2,907	1,0	2,907
D1	TR 4HR 100x6	3,127	0,75	2,345
D2	TR 4HR 100x4	3,207	0,75	2,405
D3	TR 4HR 70x4	3,298	0,75	2,474
D4	TR 4HR 70x4	3,397	0,75	2,548
D5	TR 4HR 70x4	3,745	0,75	2,809
D6	TR 4HR 70x4	3,745	0,75	2,809
V1	TR 4HR 100x4	1,370	0,75	1,028
V2	TR 4HR 100x4	1,570	0,75	1,178
V3	TR 4HR 70x4	1,770	0,75	1,328
V4	TR 4HR 70x4	1,970	0,75	1,478
V5	TR 4HR 70x4	2,170	0,75	1,628
V6	TR 4HR 70x4	2,370	0,75	1,778

Tab. 6: Určení vzpěrných délek $L_{cr,y}$ (v rovině)

5.1.2. Posudek výplňových prutů na tahové namáhání

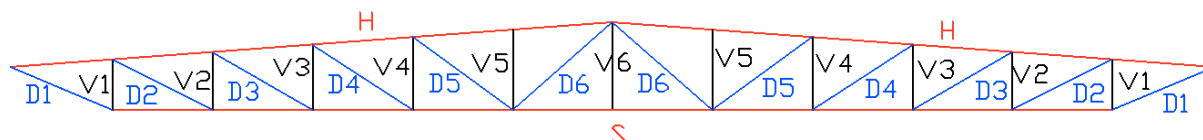
Pruty jsou navrženy z trubek čtvercového průřezu válcovaných za tepla z oceli S355.

Při posouzení únosnosti musí platit vztah: $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \geq 1$.

Mez kluzu: $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$

Návrhová pevnost: $N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$

Modul pružnosti v tahu a tlaku: $E = 210 \text{ GPa}$



Obr. 14: Označení prutů vazníku

Prut	N _{ed}	Profil	A m ²	N _{t,Rd}	N _{ed} /N _{t,RD}	POSUDEK
	kN			kN		N _{ed} /N _{t,RD} > 1
S	1039,49	HEA 160	0,003877	1376,34	0,755	Vyhoví
H	-	HEA 200	0,005383	1910,97	-	-
D1	557,95	TR 4HR 100x6	0,002925	1038,20	0,537	Vyhoví
D2	329,51	TR 4HR 100x4	0,002215	786,25	0,419	Vyhoví
D3	180,94	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	0,341	Vyhoví
D4	77,40	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	0,146	Vyhoví
D5	-	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	-	-
D6	70,09	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	0,132	Vyhoví
V1	-	TR 4HR 100x4	0,002215	786,25	-	-
V2	-	TR 4HR 100x4	0,002215	786,25	-	-
V3	-	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	-	-
V4	-	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	-	-
V5	-	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	-	-
V6	6,24	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	0,0118	Vyhoví

Tab. 7: Posouzení prutů vazníku – tažené pruty

5.1.3. Posudek výplňových prutů na tlakové namáhání

- Zatřízení průřezů

Horní pás je posuzován jako třída průřezu 3 v tlaku. Nepřihlíží se k případným příznivějším plastickým momentům únosnosti. Trubky čtvercového průřezu jsou posuzovány jako třída průřezu 1.

Horní pás HEA 200: $\frac{c}{t} = \frac{134}{10} = 13,4$

$$\frac{c}{t} \leq 124\epsilon$$

$$13,4 \leq 58,32 \Rightarrow \text{třída průřezu 3}$$

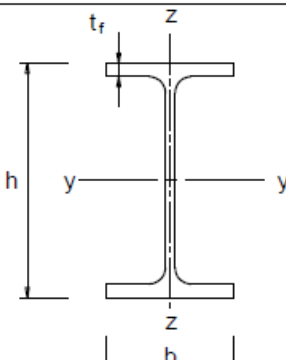
- Přiřazení křivek vzpěrnosti

Trubky čtvercového průřezu válcovaných za tepla: **křivka vzpěrné pevnosti a**
(viz Tab. 15)

Horní pás HEA 200: $\frac{h}{b} = \frac{190}{200} = 0,95 \leq 1,2$

$t_f = 10 \leq 100 \text{ mm}$

- Vybočení kolmo k ose y – y: **křivka vzpěrné pevnosti b**
- Vybočení kolmo k ose z – z: **křivka vzpěrné pevnosti c**

Průřez		Meze		Vybočení kolmo k ose	Křivka vzpěrné pevnosti	
					S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Válcované průřezy		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y – y z – z	a b	a ₀ a ₀
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y – y z – z	b c	a a
		$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y – y z – z	b c	a a
			$t_f > 100 \text{ mm}$	y – y z – z	d d	c c

Tab. 8: Určení křivky vzpěrnosti

- Výpočet součinitelů vzpěrnosti

Pro horní pás se předpokládá, že je stabilizován pro vybočení z roviny, proto je uvažován součinitel vzpěru z roviny $\chi_z = 1,0$ (v souladu s předpoklady části 6 kontrolního statického přepočtu [10]).

Pro výplňové pruty vazníku je určen součinitel vzpěru v rovině y – y (součinitel vzpěru z roviny z – z je shodný).

Určení součinitele vzpěru v rovině y – y pro tlakové namáhání:

Pro osový tlak v prutu se hodnota χ_y pro odpovídající štíhlost určí dle vztahu

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}, \text{ kde:}$$

- $\phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2]$
- α – součinitel imperfekce určený pro křivky vzpěrné pevnosti: a ... $\alpha = 0,13$
b ... $\alpha = 0,34$
c ... $\alpha = 0,49$
- $\bar{\lambda}_y$ - poměrná štíhlost pro průřezy třídy 1, 2, a 3: $\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{\sigma_{cr}}}$, kde $\sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A}$
- λ_y – kritická štíhlost: $\lambda_y = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
- N_{cr} – pružná síla pro příslušný způsob vybočení: $N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_y}{L^2}$

Pozn. Štíhlosti prutů splňují podmínku $\lambda < 200$

Prut	Profil	A	I _y
		m ²	m ⁴
S	HEA 160	3,877E-03	6,156E-06
H	HEA 200	5,383E-03	3,692E-05
D1	TR 4HR 100x6	2,925E-03	3,424E-06
D2	TR 4HR 100x4	1,495E-03	2,261E-06
D3	TR 4HR 70x4	1,495E-03	7,837E-07
D4	TR 4HR 70x4	1,015E-03	7,197E-07
D5	TR 4HR 70x4	1,015E-03	7,197E-07
D6	TR 4HR 70x4	1,015E-03	7,197E-07
V1	TR 4HR 100x4	2,215E-03	2,261E-06
V2	TR 4HR 100x4	2,215E-03	2,477E-06
V3	TR 4HR 70x4	1,015E-03	7,197E-07
V4	TR 4HR 70x4	1,015E-03	7,197E-07
V5	TR 4HR 70x4	1,015E-03	7,197E-07
V6	TR 4HR 70x4	1,015E-03	7,197E-07

Tab. 9: Průřezové charakteristiky prutů

Prut	Profil	$\bar{\lambda}_y$	ϕ	N_{cr}	λ_y	χ_y
				kN		
S	HEA 160	1,906	2,495	378,90	145,629	0,244
H	HEA 200	0,460	0,633	9045,87	35,119	0,936
D1	TR 4HR 100x6	0,898	0,976	1288,76	68,580	0,736
D2	TR 4HR 100x4	0,810	0,892	809,31	61,872	0,790
D3	TR 4HR 70x4	1,415	1,628	265,22	108,081	0,411
D4	TR 4HR 70x4	1,253	1,395	229,57	95,718	0,498
D5	TR 4HR 70x4	1,381	1,578	188,89	105,523	0,427
D6	TR 4HR 70x4	1,381	1,578	188,89	105,523	0,427
V1	TR 4HR 100x4	0,421	0,612	4434,79	32,173	0,947
V2	TR 4HR 100x4	0,461	0,634	3699,43	35,226	0,936
V3	TR 4HR 70x4	0,653	0,761	845,59	49,873	0,869
V4	TR 4HR 70x4	0,726	0,819	682,61	55,509	0,835
V5	TR 4HR 70x4	0,800	0,883	562,58	61,144	0,796
V6	TR 4HR 70x4	0,874	0,953	471,64	66,780	0,751

Tab. 10: Součinitel vzpěru χ_y

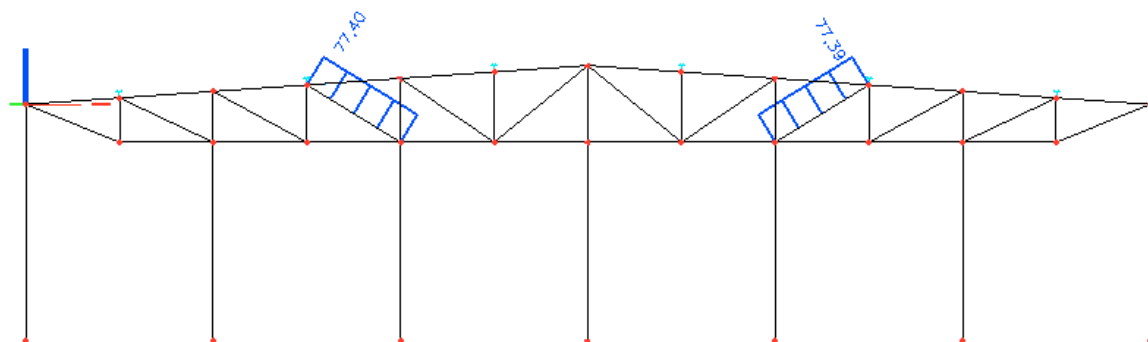
- Posouzení prutů na tlakové namáhání

Únosnost jednotlivých prutů namáhaných tlakem je určena vztahem:

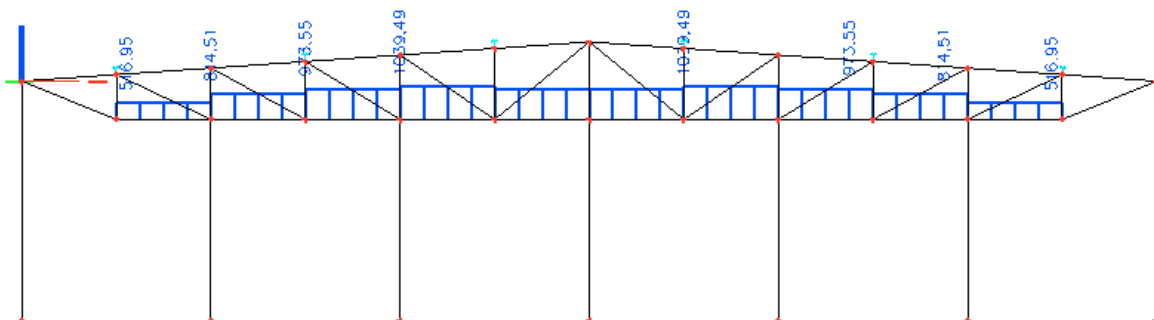
$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot A \cdot f_{yd}. \text{ Při posouzení únosnosti musí platit vztah: } \frac{N_{ed}}{N_{b,Rd}} \geq 1.$$

Prut	N_{ed}	Profil	χ_y	$N_{b,Rd}$	$N_{ed}/N_{b,Rd}$	POSUDEK
	kN			kN		$N_{ed}/N_{b,Rd} > 1$
S	-	HEA 160	0,244	335,20	-	-
D1	-	TR 4HR 100x6	0,736	763,65	-	-
D2	-	TR 4HR 100x4	0,790	419,26	-	-
D3	-	TR 4HR 70x4	0,411	218,04	-	-
D4	-	TR 4HR 70x4	0,498	179,29	-	-
D5	9,78	TR 4HR 70x4	0,427	153,94	0,064	Vyhoví
D6	-	TR 4HR 70x4	0,427	153,94	-	-
V1	206,12	TR 4HR 100x4	0,947	744,71	0,277	Vyhoví
V2	140,19	TR 4HR 100x4	0,936	735,90	0,191	Vyhoví
V3	84,90	TR 4HR 70x4	0,869	313,01	0,271	Vyhoví
V4	38,54	TR 4HR 70x4	0,835	300,80	0,128	Vyhoví
V5	38,14	TR 4HR 70x4	0,796	286,61	0,133	Vyhoví
V6	-	TR 4HR 70x4	0,751	270,49	-	-

Tab. 11: Posouzení prutů vazníku na tlakové namáhání



Obr. 15: Příklad průběhu normálových sil na diagonále D4 (tah)



Obr. 16: Příklad průběhu normálových sil na dolním pásu (tah)

5.1.4. Posouzení horního pásu H

Pružný kritický moment M_{cr} pro ohyb k ose y – y je dán obecným vztahem:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z G I_t}}{L}, \text{ kde:}$$

- μ_{cr} – bezrozměrný kritický moment:

$$\begin{aligned} \mu_{cr} &= \frac{C_1}{k_z} \left(\sqrt{1 + \chi_{wt} + (C_2 \xi_g)^2} \right) - C_2 \xi_g = \\ &= \frac{1,13}{1} \left(\sqrt{1 + 1,249 + (0,46 \cdot 1,39)^2} \right) - 0,46 \cdot 1,39 = 1,225 \end{aligned}$$

- χ_{wt} – bezrozměrný parametr kroucení:

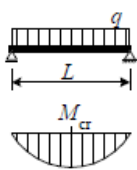
$$\chi_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 2907} \sqrt{\frac{210 \cdot 1,083 \text{E} + 11}{81 \cdot 210000}} = 1,249$$

- k_w, k_z – součinitele vzpěrné délky pro kloubové uložení: $k_w = 1,0$; $k_z = 0$

- ξ_g – bezrozměrný parametr působíště zatížení:

$$\xi_g = \frac{\pi z_g}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 100}{1 \cdot 2907} \sqrt{\frac{210 \cdot 134 \cdot 10^5}{81 \cdot 21 \cdot 10^4}} = 1,39$$

- z_g – souřadnice působíště zatížení
- C_1, C_2 – součinitele závisící na typu uložení a zatížení viz Tab. 12
-

Zatížení a podmínky podepření	Součinitele vzpěrné délky			Hodnoty součinitelů							
	k_y	k_z	k_w	C_1 ¹⁾		C_2			C_3		
				$C_{1,0}$	$C_{1,1}$	\perp $\psi_f = -1$	I I I I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	T $\psi_f = 1$	\perp $\psi_f = -1$	I I I I $-0,9 \leq \psi_f \leq 0,9$	T $\psi_f = 1$
	1	1	1	1,13	1,13	0,33	0,46	0,50	0,93	0,53	0,38
	1	1	0,5	1,13	1,23	0,33	0,39	0,50	0,93	0,81	0,38
	1	0,5	1	0,95	1,00	0,25	0,41	0,40	0,84	0,48	0,44
	1	0,5	0,5	0,95	0,97	0,25	0,31	0,40	0,84	0,67	0,44

Tab. 12: Hodnoty součinitelů C_1 a C_2

- $C_{1,0} = 1,13$
- $C_{1,1} = 1,13$
- $C_1 = 1,13$
- $C_2 = 0,46$

- Průřezové charakteristiky HEA 200:

$$\begin{aligned} W_{y,p} &= 430000 \text{ mm}^3 \\ W_{y,el} &= 389000 \text{ mm}^3 \\ I_y &= 36900000 \text{ mm}^4 \\ I_z &= 13400000 \text{ mm}^4 \\ I_w &= 1,083 \cdot 10^9 \text{ mm}^6 \\ I_t &= 210000 \text{ mm}^4 \\ A &= 5383 \text{ mm}^2 \\ G &= 8,1 \cdot 10^9 \text{ Pa} \\ z_g &= 100 \text{ mm} \\ L &= 2907 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Pružný kritický moment:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L} = 1,225 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 134 \cdot 10^5 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 210 \cdot 10^4}}{2907} =$$

$$M_{cr} = 289,539 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

- Výpočet součinitele stability při klopení

Poměrná štíhlost při klopení:

$$\begin{aligned} - \lambda_{LT} &= \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{43 \cdot 10^4 \cdot 355 \cdot 10^6}{289,539 \cdot 10^6}} = 0,726 \\ - \phi_{LT} &= 0,5[1 + \alpha(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] \\ \phi_{LT} &= 0,5[1 + 0,34(0,726 - 0,2) + 0,726^2] = 0,853 \end{aligned}$$

Součinitel příčné a torzní stability:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,853 + \sqrt{0,853^2 - 0,726^2}} = 0,769$$

- Posouzení horního pásu vazníku na kombinaci tlaku a ohybu

Rozhodující kombinace zatížení:

CO10 – vlastní tíha (1,35) + stálé (1,35) + sníh (1,5) viz *Tab. 19*

$$N_{Ed} = -1041,89 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{y,max} = 16,62 \text{ kNm}$$

Horní pás je posouzen na kombinaci $N_{Ed} + M_{y,Ed}$ dle vztahů:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

kde:

- k_{yy} a k_{zy} – součinitel interakce dle typu průřezu viz *Tab. 13*
- χ_y, χ_z a χ_{LT} – součinitelé ztráty stability (vzpěr v rovině a z roviny, klopení)

Interakční součinitele	Typ průřezu	Předpoklady navrhování	
		Pružnostní návrh – průřezy třídy 3 a 4	Plasticitní návrh – průřezy třídy 1 a 2
k_{yy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	I průřezy, pravoúhlé duté průřezy	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	I průřezy	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	pravoúhlé duté průřezy		$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Tab. 13: Interakční součinitel

- Výpočet součinitelů interakce

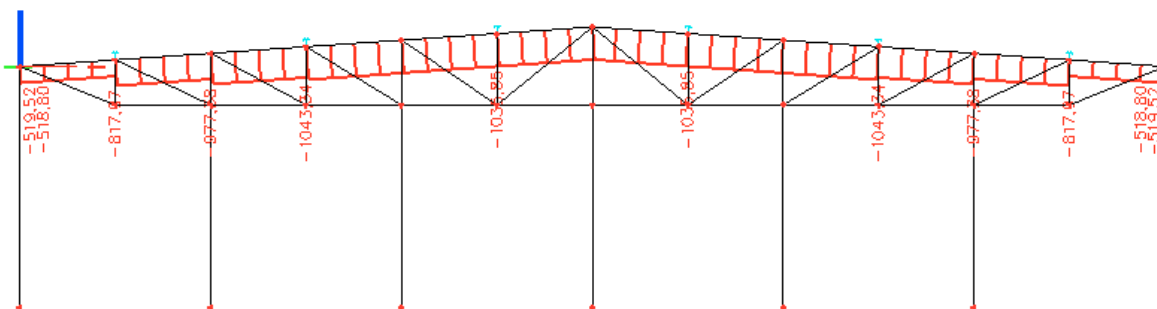
Výpočet součinitelů interakce k_{yy} a k_{zy} horního pásu průřezu HEA třídy 1 dle vztahu (viz Tab. 13):

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda} - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$


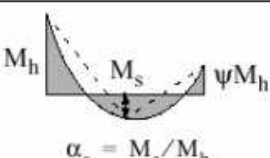
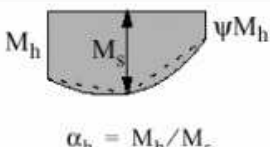
$$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy} ,$$

kde:

- C_{my} – součinitel ekvivalentního konstantního momentu



Obr. 17: Průběh normálových sil horního pásu

Průběh momentu	Rozsah		C_{my} a C_{mz} a C_{mLT}	
			rovnoměrné zatížení	soustředěné zatížení
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4 \psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$-0,8 \alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1 - \psi) - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8 \alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$	$0,90 + 0,10 \alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05 \alpha_h$	$0,90 + 0,10 \alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05 \alpha_h(1 + 2 \psi)$	$0,90 + 0,10 \alpha_h(1 + 2 \psi)$

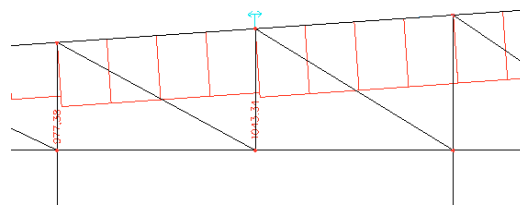
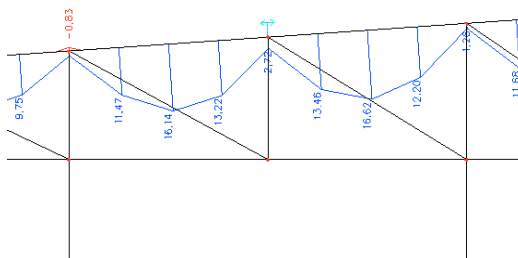
Tab. 14: Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my}

Výpočet součinitele C_{my} viz Tab. 14:

$$M_h = 2,72 \text{ kNm}$$

$$M_s = 16,62 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{2,72}{16,62} = 0,164 \Rightarrow C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,164 = 0,958$$



Obr. 18: Maximální normálové síly a ohybový moment M_y na horním pásu

Výpočet součinitele interakce viz *Tab. 13*:

$$N_{Ed} = -1041,89 \text{ kN}$$

$$N_{Rk} = 1789,35 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = 0,958 \cdot \left(1 + (0,46 - 0,2) \cdot \frac{1041,89}{\frac{0,936 \cdot 1789,35}{1,0}} \right) = 1,113$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot 1,113 = 0,890$$

- Posudek

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{1041,89}{\frac{0,936 \cdot 1789,35}{1,0}} + 1,113 \frac{16,62 \cdot 10^6}{\frac{0,769 \cdot 355 \cdot 389000}{1,0}} = 0,796 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{1041,89}{\frac{1,0 \cdot 1789,35}{1,0}} + 0,890 \frac{16,62 \cdot 10^6}{\frac{0,769 \cdot 355 \cdot 389000}{1,0}} = 0,721 \leq 1$$

➤ **VYHOVÍ**

5.2. Posouzení únosnosti podélného ztužidla

Zatížení bez vlivu teploty únosnost rozpěrné trubky příliš neovlivní. V podélném ztužidle vlivem zatížení na konstrukci nedošlo k výraznému nárůstu vnitřních sil. Podélné ztužidlo je posuzováno na vliv tahového a tlakového namáhání, ohybové namáhání je nepatrné.

- Výpočet únosnosti v tahu

$$\text{Mez kluzu: } f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

$$\text{Návrhová pevnost: } N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$\text{Modul pružnosti v tahu a tlaku: } E = 210 \text{ GPa}$$


$$\text{Průřezové charakteristiky trubky čtvercového průřezu 80/80/4: } A = 11,75 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_z = 11,1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\text{Vzpěrná délka: } L_{cr} = L \cdot 0,75 = 6 \cdot 0,75 = 4,5 \text{ m}$$

- Výpočet součinitele vzpěrnosti

Pro duté průřezy válcované za tepla odpovídá **křivka vzpěrnosti a** (viz Tab. 15)

Duté průřezy		válcované za tepla	všechny	a	a ₀
		tvarované za studena	všechny	c	c

Tab. 15: Přiřazení křivky vzpěrnosti

$$\text{kritická štíhlost: } \bar{\lambda} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9}{54,33 \cdot 10^6}} = 2,079$$

$$\text{kde: } \sigma_{cr} = \frac{N_{cr}}{A} = \frac{63,84 \cdot 10^3}{11,75 \cdot 10^{-4}} = 54,33 \text{ MPa}$$

$$\text{pružná kritická síla: } N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{\pi^2 210 \cdot 10^9 \cdot 11,1 \cdot 10^{-7}}{6^2} = 63,84 \text{ kN}$$

$$\text{poměrná štíhlost: } \lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{11,75 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{63,84 \cdot 10^3}} = 195,3$$

$$\text{součinitel vzpěru: } \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,86 + \sqrt{2,86^2 - 2,079^2}} = \mathbf{0,207}, \text{ kde}$$

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 [1 + 0,21(2,079 - 0,2) + 2,079^2] = 2,86$$

5.2.1. Horní rozpěrné pruty

Rozhodující kombinace zatížení:

CO10 – vlastní tíha (1,35) + stálé (1,35) + sníh (1,5) viz Tab. 19

Únosnost podélného ztužidla při tlakovém namáhání je určena vztahem:

$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$. Musí přitom platit $N_{b,Rd} \geq N_{Ed}$.

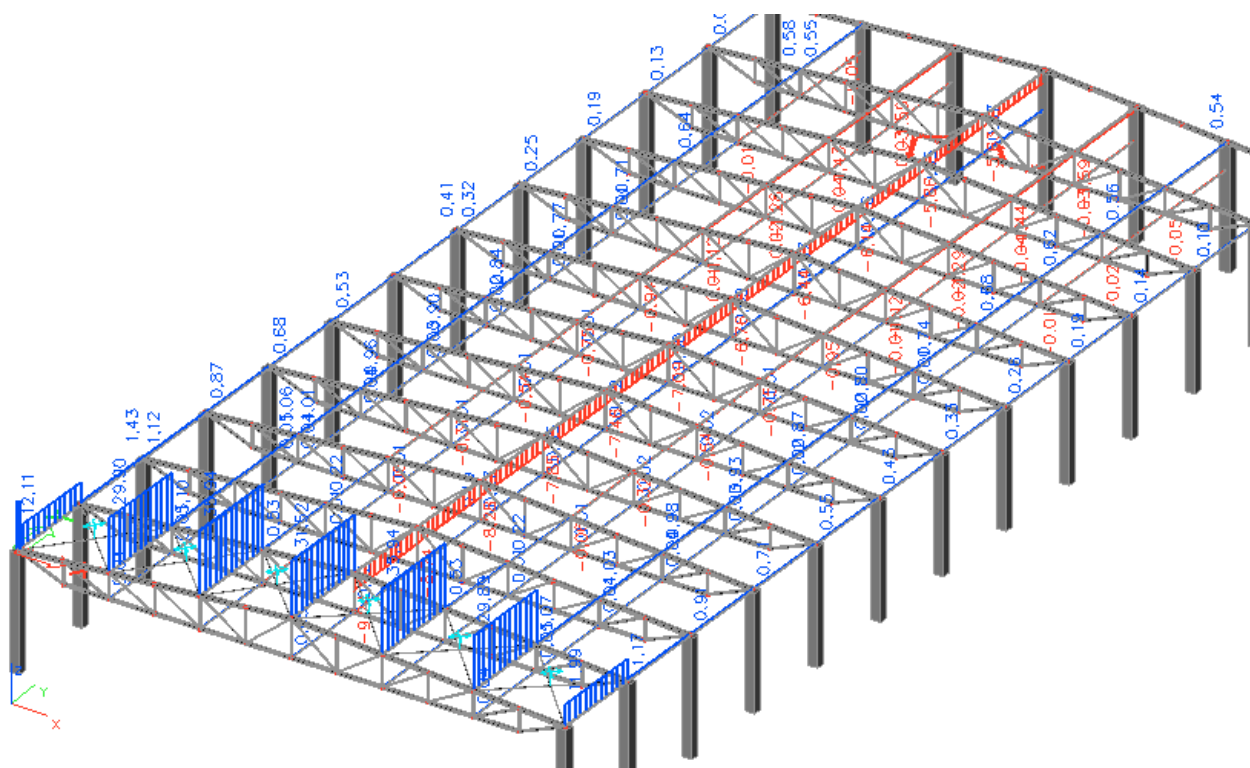
$$N_{Ed} = -9,24 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,207 \cdot 11,75 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6 = 57,25 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$57,25 \text{ kN} \geq 9,24 \text{ kN}$$

➤ VYHOVÍ



Obr. 19: Normálové síly na horních rozpěrných prutech (bez vlivu ochlazení) $N_{max} = 35,94 \text{ kN}$

Únosnost podélného ztužidla při tahovém namáhání je určena vztahem:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}. \text{ Musí přitom platit } N_{t,Rd} \geq N_{Ed}.$$

$$N_{Ed} = 35,94 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 11,75 \cdot 10^{-4} = 276,13 \text{ kN}$$

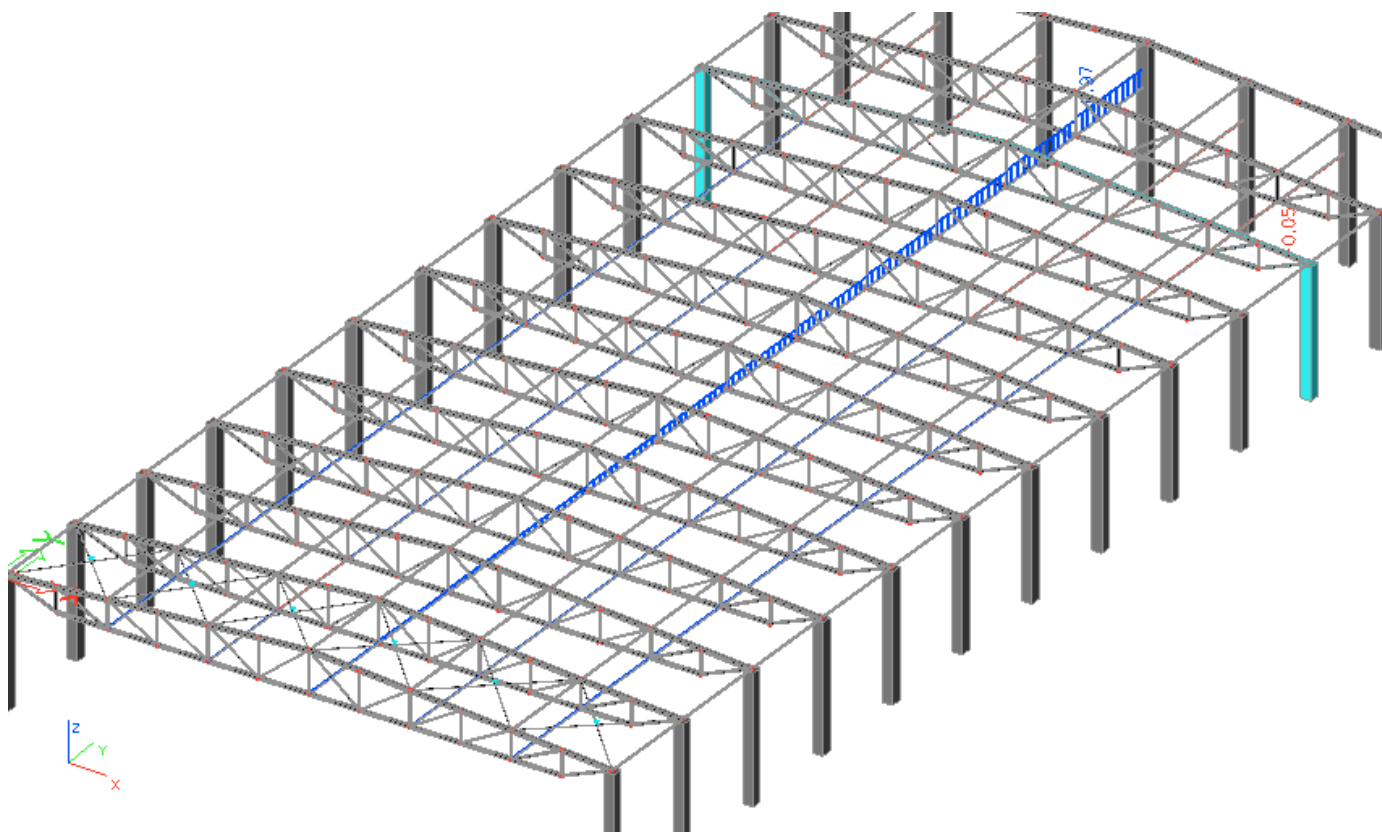
$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$276,13 \text{ kN} \geq 35,94 \text{ kN}$$

➤ VYHOVÍ

5.2.2. Dolní rozpěrné pruty

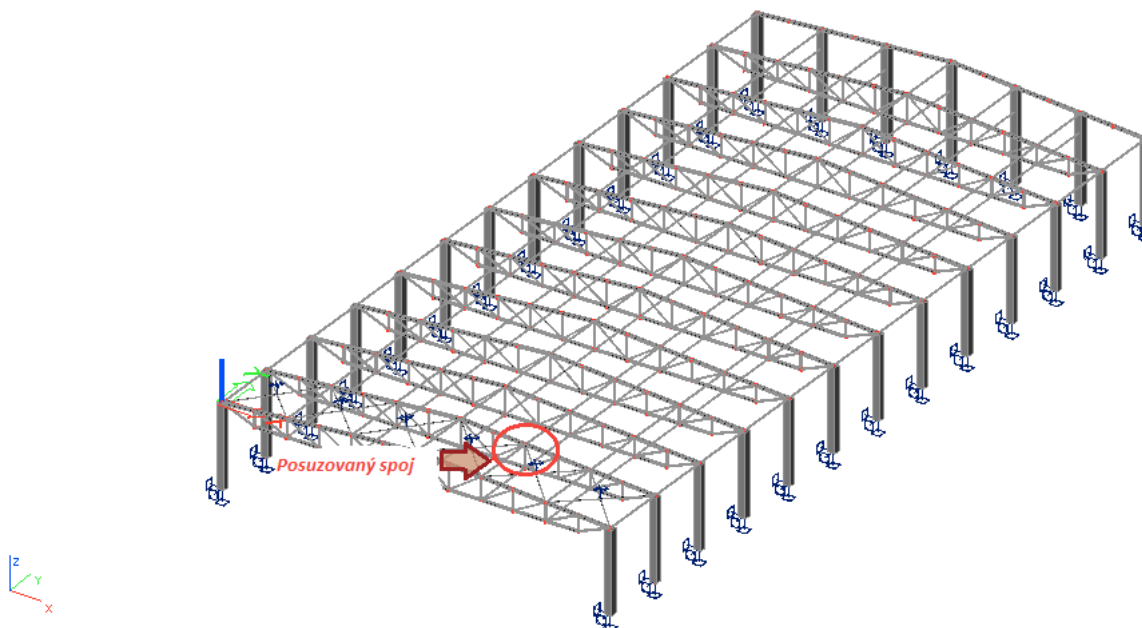
V dolních rozpěrných prutech vznikají zanedbatelné vnitřní síly ($N_{max} = 0,97 \text{ kN}$).



Obr. 20: Normálové síly na dolních rozpěrných prutech (bez vlivu ochlazení)

5.3. Posouzení únosnosti šroubového spoje rozpěrná trubka – vazník

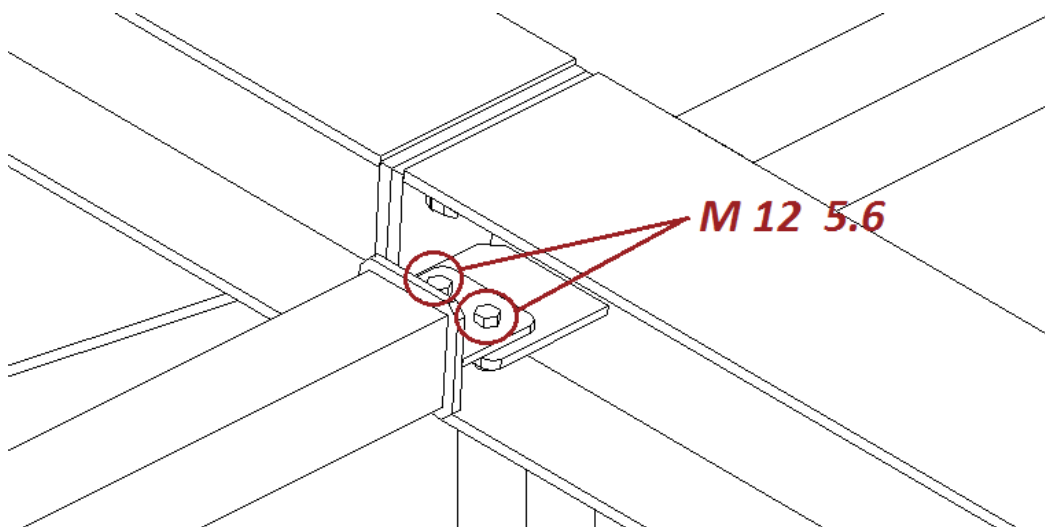
Rozpěrná trubka a vazník je spojen dvěma šrouby M 12, pevnostní třídy 5.6, pomocí plechu P8 z oceli S235. Jedná se o jednostřížný spoj posuzován na únosnost ve střihu a v otláčení.



Obr. 21: Místo posuzovaného spoje

Parametry šroubu:

- Průměr otvoru pro šroub: $d_0 = 13 \text{ mm}$
- Průměr šroubu: $d = 12 \text{ mm}$
- Rozteč šroubu: $e_1 = 30 \text{ mm}$
- Mez kluzu: $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$
- Mez pevnosti: $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$
- Mez pevnosti spojovaného plechu: $f_u = 360 \text{ MPa}$
- Plocha jádra šroubu: $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$
- Plocha dříku šroubu: $A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 6^2 = 113 \text{ mm}^2$
- Dílčí součinitel spolehlivost: $\gamma_{M2} = 1,25$
- Pro pevnostní třídu 5.6: $\alpha_v = 0,6$



Obr. 22: Detail posuzovaného spoje (horní pás - rozpěrná trubka)

5.3.1. Posouzení únosnosti spoje ve střihu

1. Rovina střihu prochází závitem:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} \cdot 10^{-3} = 40,5 \text{ kN}$$

2. Rovina střihu prochází dřikem:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 113}{1,25} \cdot 10^{-3} = 54,2 \text{ kN}$$

- Posudek na střih

Síla působící v místě spoje bez vlivu zatížení teplotou: $F_{Ed} = 35,94 \text{ kN}$

Musí platit

$$F_{v,Rd} \geq F_{Ed}$$

$$40,5 \text{ kN} \geq 35,94 \text{ kN}$$

➤ VYHOVÍ

5.3.2. Posouzení únosnosti v otláčení

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}, \text{ kde}$$

$$\alpha_b = \min \left[\begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{360} = 1,39 \\ \frac{e_1}{3d_0} = \frac{30}{3 \cdot 13} = 0,769 \end{array} \right] = 0,769$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{13} - 1,7 = 4,76 \end{array} \right] = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,769 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 8}{1,25} = \mathbf{106,3 \text{ kN}}$$

- Posudek na otláčení

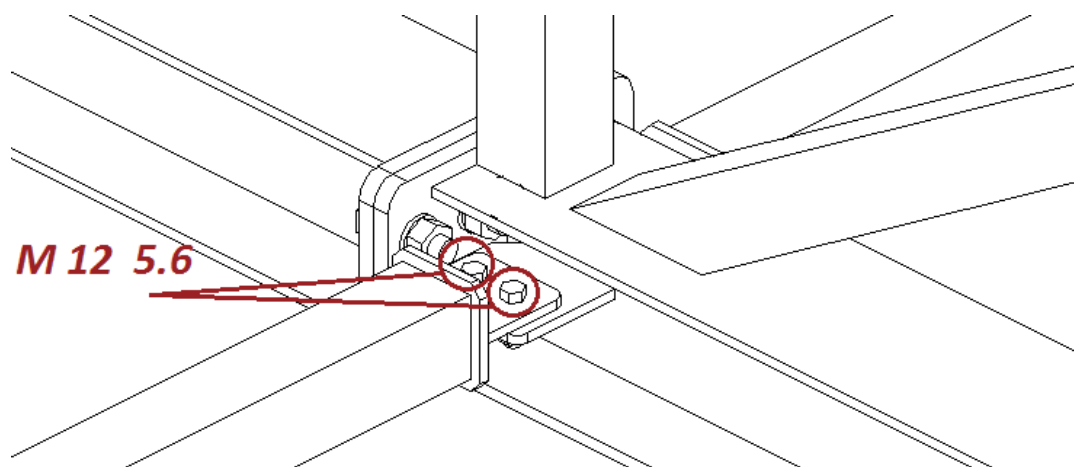
Síla působící v místě spoje bez vlivu zatížení teplotou: $F_{Ed} = \mathbf{35,94 \text{ kN}}$

Musí platit

$$F_{v,Rd} \geq F_{Ed}$$

$$\mathbf{106,3 \text{ kN} \geq 35,94 \text{ kN}}$$

➤ **VYHOVÍ**



Obr. 23: Detail spoje dolní pás – rozpěrná trubka

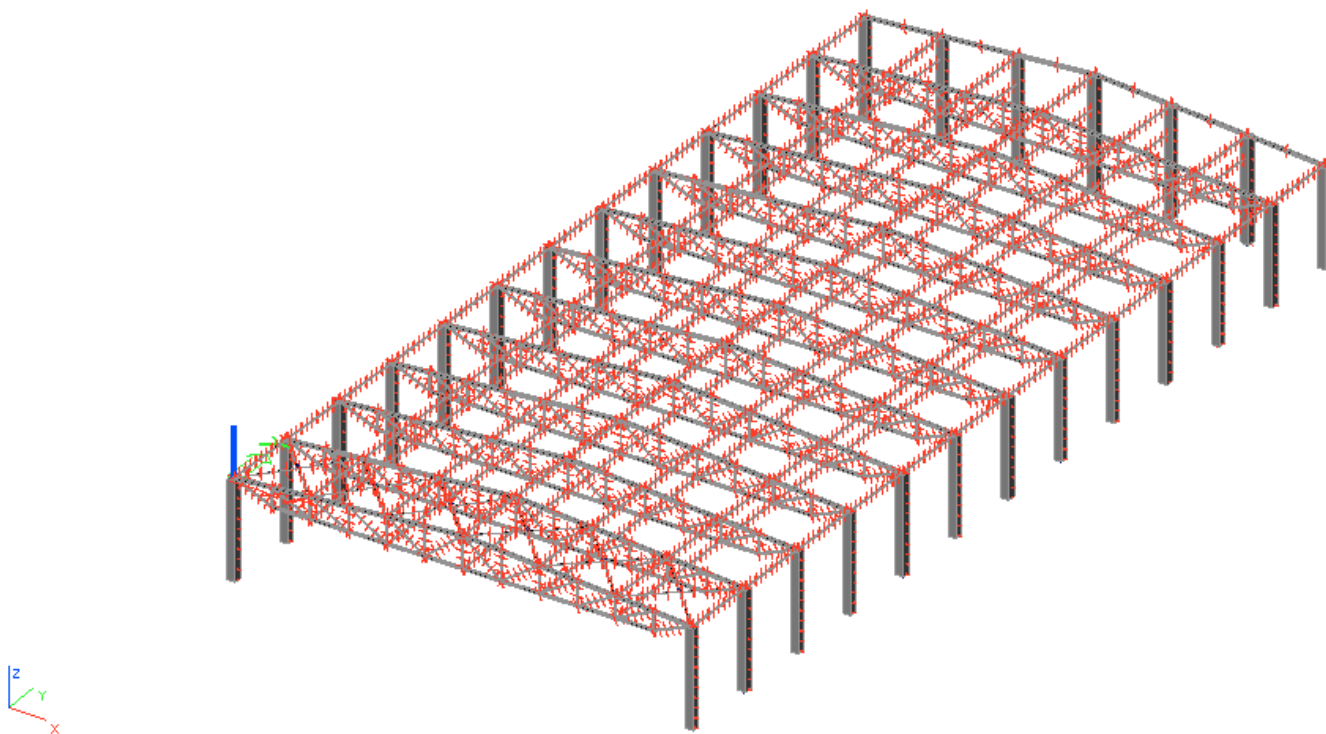
6. Posouzení příhradového vazníku s vlivem změny teploty

Pro výpočet byly uvažovány následující zatížení v době havárie:

- vlastní tíha konstrukce
- stálé zatížení
- užité zatížení pod střechou
- sníh celý
- zatížení vyvoláno změnou teploty

Všechna zatížení jsou modelována stejně jako v případě posouzení konstrukce z hlediska vlivu zatížení bez vlivu ochlazení.

Zatížení je modelováno jako spojitě na horní pás, v případě užitého zatížení na spodní pás vazníku. V krajních vaznicích jsou veškerá spojitá zatížení o polovinu menší, z důvodu poloviční roznášecí šířky než mezi vazníky uvnitř haly. Zatížení vyvoláno ochlazením konstrukce o $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ je modelováno na každý prvek konstrukce (včetně betonových sloupů).



Obr. 24: Zatížení ochlazením konstrukce o $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

6.1. Posudek prutů vazníku

6.1.1. *Určení vzpěrných délek*

Vzpěrné délky prutů vazníku jsou převzaty z předchozího výpočtu. Posouzení příhradového vazníku bez vlivu změny teploty viz 5.1.1. *Určení vzpěrných délek.*

Spodní pás je z roviny vazníku, stejně jako v předcházejícím výpočtu, zajištěn sloupy a podélným ztužením mezi vazníky. Vzpěrná délka spodního pásu je tedy 5,8 m.

6.1.2. *Posudek prutů na tahové namáhání*

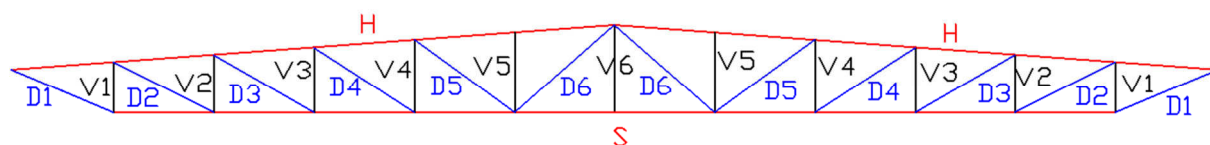
Pruty jsou navrženy z trubek čtvercového průřezu válcovaných za tepla z oceli S355.

Při posouzení únosnosti musí platit vztah: $\frac{N_{ed}}{N_{t,Rd}} \geq 1$.

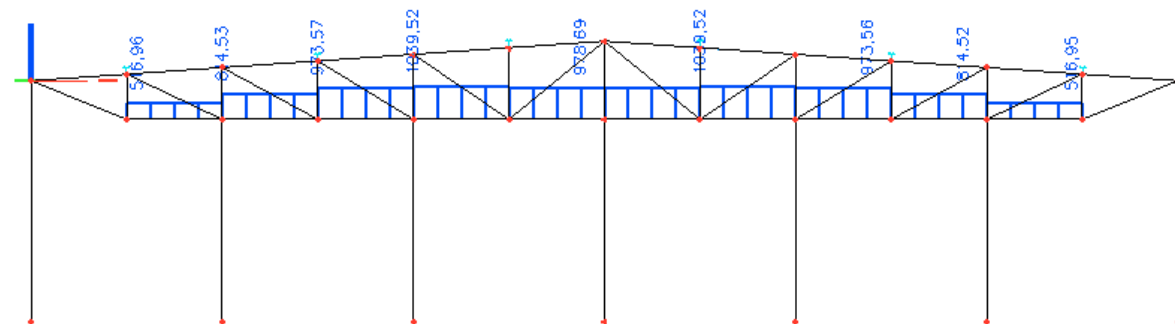
$$\text{Mez kluzu: } f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

$$\text{Návrhová pevnost: } N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$\text{Modul pružnosti v tahu a tlaku: } E = 210 \text{ GPa}$$



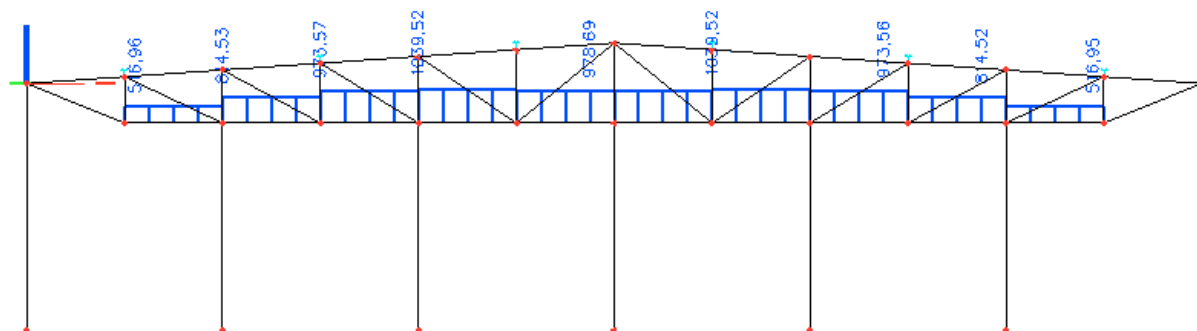
Obr. 25: Označení prutů vazníku



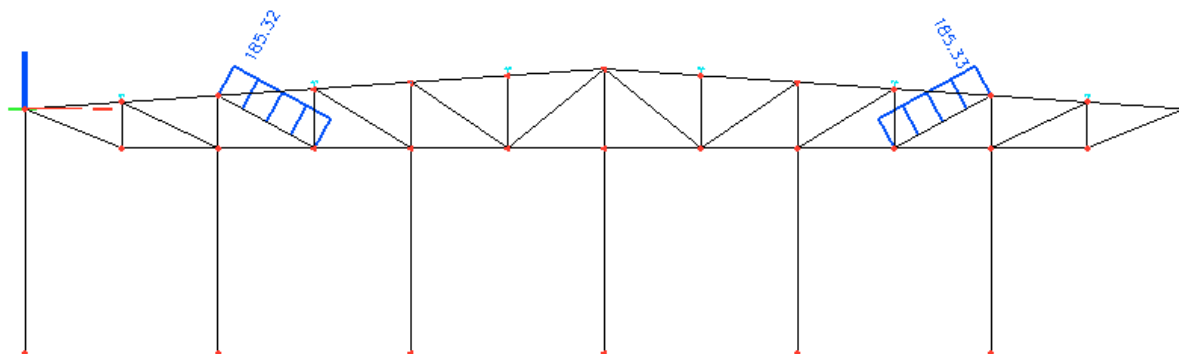
Obr. 26: Příklad průběhu normálových sil na dolním pásu (tah)

prut	N_{ed}	profil	A	$N_{t,Rd}$	$N_{ed}/N_{t,RD}$	POSUDEK
	kN		m ²	kN		$N_{ed}/N_{t,RD} > 1$
S	1039,52	HEA 160	0,003877	1376,34	0,755	Vyhoví
H	-	HEA 200	0,005383	1910,97	-	-
D1	565,80	TR 4HR 100x6	0,002925	1038,20	0,545	Vyhoví
D2	335,44	TR 4HR 100x4	0,002215	786,25	0,426	Vyhoví
D3	185,32	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	0,349	Vyhoví
D4	80,78	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	0,152	Vyhoví
D5	3,96	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	0,007	Vyhoví
D6	69,29	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	0,131	Vyhoví
V1	-	TR 4HR 100x4	0,002215	786,25	-	-
V2	-	TR 4HR 100x4	0,002215	786,25	-	-
V3	-	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	-	-
V4	-	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	-	-
V5	-	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	-	-
V6	5,94	TR 4HR 70x4	0,001495	530,65	0,011	Vyhoví

Tab. 16: Posouzení prutů vazníku – tažené pruty



Obr. 27: Příklad průběhu normálových sil na dolním pásu (tah)



Obr. 28: Průběh normálových sil na diagonál D3 (tah)

6.1.3. Posudek prutů na tlakové namáhání

- Zatřídění průřezů

Horní pás je posuzován jako třída průřezu 3 v tlaku. Nepřihlíží se k případným příznivějším plastickým momentům únosnosti. Trubky čtvercového průřezu jsou posuzovány jako třída průřezu 1.

Zatřídění průřezů horního pásu vazníku je shodné s výpočtem viz 5.1.3.

- Přiřazení křivek vzpěrnosti

Přiřazení křivky vzpěrnosti je shodné s předcházejícím výpočtem pro horní pás viz 5.1.3.

- Výpočet součinitelů vzpěrnosti

Určení součinitele vzpěru pro tlakové namáhání je shodný s výpočtem viz 5.1.3.

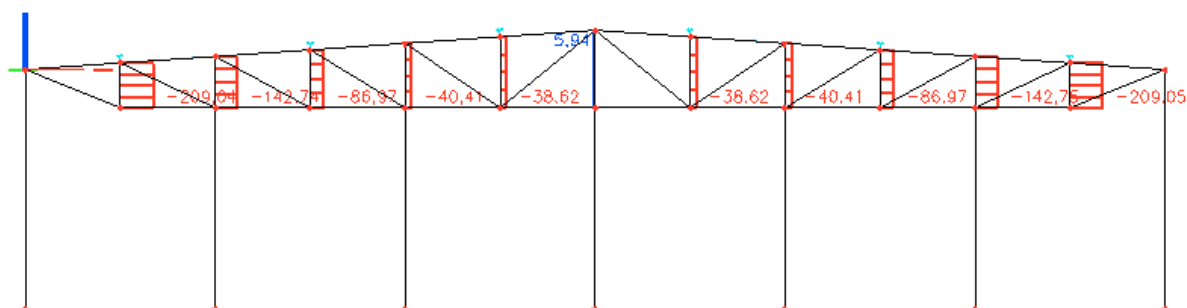
Prut	Profil	$\bar{\lambda}_y$	ϕ	N_{cr}	λ_y	χ_y
				kN		
S	HEA 160	1,906	2,495	378,89	145,629	0,244
H	HEA 200	0,460	0,633	9045,87	35,119	0,936
D1	TR 4HR 100x6	0,898	0,976	1288,75	68,580	0,736
D2	TR 4HR 100x4	0,810	0,892	809,31	61,872	0,790
D3	TR 4HR 70x4	1,415	1,628	265,21	108,081	0,411
D4	TR 4HR 70x4	1,253	1,395	229,57	95,718	0,498
D5	TR 4HR 70x4	1,381	1,578	188,88	105,523	0,427
D6	TR 4HR 70x4	1,381	1,578	188,88	105,523	0,427
V1	TR 4HR 100x4	0,421	0,612	4434,79	32,173	0,947
V2	TR 4HR 100x4	0,461	0,634	3699,43	35,226	0,936
V3	TR 4HR 70x4	0,653	0,761	845,59	49,873	0,869
V4	TR 4HR 70x4	0,726	0,819	682,61	55,509	0,835
V5	TR 4HR 70x4	0,800	0,883	562,58	61,144	0,796
V6	TR 4HR 70x4	0,874	0,953	471,64	66,780	0,751

Tab. 17: Součinitel vzpěru χ

- Posouzení prutů na tlakové namáhání

Únosnost jednotlivých prutů namáhaných tlakem je určena vztahem:

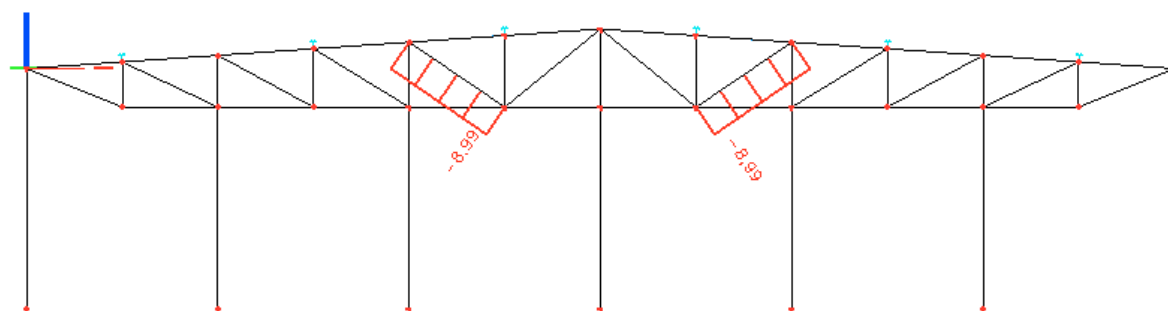
$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot A \cdot f_{yd}. \text{ Při posouzení únosnosti musí platit vztah: } \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \geq 1.$$



Obr. 29: Příklad částí průběhů normálových sil na vazníku

Prut	N _{ed}	Profil	χ_y	N _{b,Rd}	N _{ed} /N _{b,Rd}	POSUDEK
	kN			kN		N _{ed} /N _{b,RD} > 1
S	-	HEA 160	0,244	335,20	-	-
D1	-	TR 4HR 100x6	0,736	763,65	-	-
D2	-	TR 4HR 100x4	0,790	419,26	-	-
D3	-	TR 4HR 70x4	0,411	218,04	-	-
D4	-	TR 4HR 70x4	0,498	179,29	-	-
D5	8,99	TR 4HR 70x4	0,427	153,94	0,058	Vyhoví
D6	-	TR 4HR 70x4	0,427	153,94	-	-
V1	209,04	TR 4HR 100x4	0,947	744,71	0,281	Vyhoví
V2	142,75	TR 4HR 100x4	0,936	735,91	0,194	Vyhoví
V3	86,97	TR 4HR 70x4	0,869	313,01	0,278	Vyhoví
V4	40,41	TR 4HR 70x4	0,835	300,80	0,134	Vyhoví
V5	38,62	TR 4HR 70x4	0,796	286,61	0,135	Vyhoví
V6	-	TR 4HR 70x4	0,751	270,49	-	-

Tab. 18: Posouzení prutů vazníku na tlakové namáhání



Obr. 30: Příklad částí průběhů normálových sil na vazníku

6.1.4. Posouzení horního pásu H

6.1.4.1. Kombinace $N_{Ed} + M_{y,Ed}$

Rozhodující kombinace zatížení na třetím vazníku:

KO9 – vlastní tíha (1,35) + stálé (1,35) + sníh celý (1,50) + teplota (0,9) viz Tab. 20

$$N_{Ed} = -1041,9 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 0,13 \text{ kNm}$$

$$M_{y,max} = 16,62 \text{ kNm}$$

- Pružný kritický moment M_{cr} pro ohyb k ose y – y je shodný s výpočtem viz 5.1.4.

Pružný kritický moment horního pásu HEA 200:

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z G I_t}}{L} = 1,225 \cdot \frac{\pi \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 134 \cdot 10^5 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 210 \cdot 10^4}}{2907} =$$

$$M_{cr} = 289,539 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

- Výpočet součinitele stability při klopení
- Součinitel příčné a torzní stability je shodný s výpočtem viz 5.1.4.

Poměrná štíhlost při klopení:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{43 \cdot 10^4 \cdot 355 \cdot 10^6}{289,539 \cdot 10^6}} = 0,726$$

$$\phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5[1 + 0,34(0,726 - 0,2) + 0,726^2] = 0,853$$

$$\text{Součinitel příčné a torzní stability: } \chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,853 + \sqrt{0,853^2 - 0,726^2}} = 0,769$$

- Posouzení horního pásu vazníku na kombinaci tlaku a ohybu

Horní pás je posouzen na kombinaci $N_{Ed} + M_{max,Ed}$ dle vztahů:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

kde:

- k_{yy} a k_{zy} – součinitelé interakce dle typu průřezu
- χ_y, χ_z a χ_{LT} – součinitele ztráty stability (vzpěr v rovině a z roviny klopení)

- Výpočet součinitelů interakce

Výpočet součinitelů interakce k_{yy} a k_{zy} horního pásu průřezu HEA dle vztahu (viz *Tab. 13*):

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy} ,$$

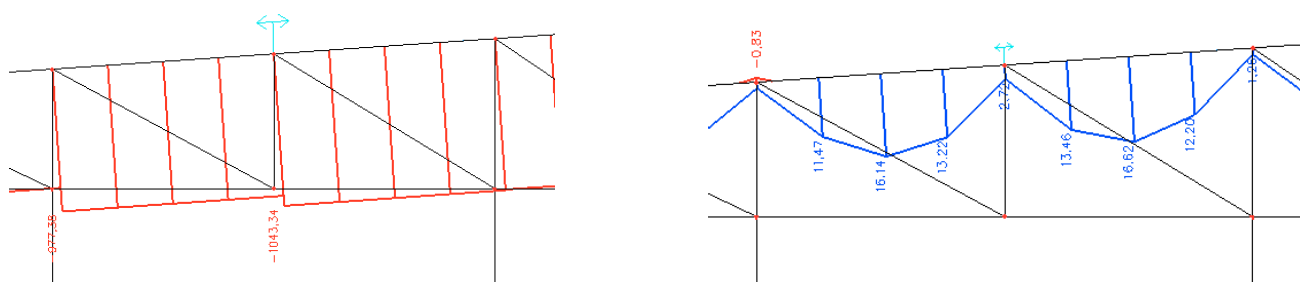
kde:

- C_{my} – součinitel ekvivalentního konstantního momentu

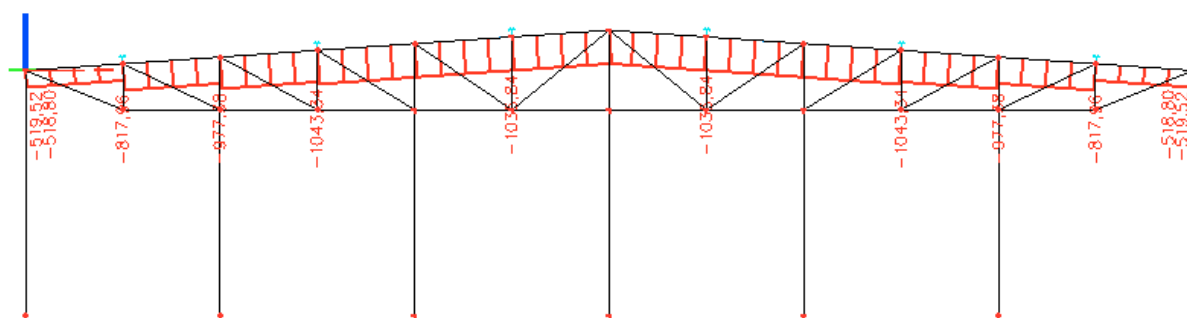
Výpočet součinitele C_{my} viz *Tab. 14*:

- $M_h = 2,72 \text{ kNm}$
- $M_s = 16,62 \text{ kNm}$
- $\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{2,72}{16,62} = 0,164 \Rightarrow$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0,164 = \mathbf{0,958}$$



Obr. 31: Normálové síly a maximální ohybový moment M_y na horním pásu



Obr. 32: Průběh normálových sil horního pásu

- Výpočet součinitele interakce viz Tab. 13:

$$N_{Ed} = -1041,9 \text{ kN}$$

$$N_{Rk} = 1789,35 \text{ kN}$$

$$k_{yy} = 0,936 \cdot \left(1 + (0,460 - 0,2) \cdot \frac{1041,41}{\frac{0,936 \cdot 1813,8}{1,0}} \right) = 1,113$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot 1,113 = 0,890$$

- Posudek

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{1041,9}{\frac{0,936 \cdot 1789,35}{1,0}} + 1,113 \frac{16,14 \cdot 10^6}{\frac{0,769 \cdot 355 \cdot 389000}{1,0}} = \mathbf{0,791} \leq \mathbf{1}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{1041,9}{1,0 \cdot 1813,8} + 0,890 \frac{16,14 \cdot 10^6}{0,769 \cdot 355 \cdot 389000} = 0,717 \leq 1$$

► VYHOVÍ

6.1.4.2. Kombinace $N_{Ed} + M_{z,Ed}$

Rozhodující kombinace zatížení na třetím vazníku:

KO13 – vlastní tíha (1,00) + stálé (1,00) + teplota (1,5) viz Tab. 20

$$N_{Ed} = -111,51 \text{ kN}$$

$$M_{z,max} = 1,6 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

- Posouzení horního pásu vazníku na kombinaci tlaku a ohybu

Horní pás je posouzen na kombinaci $N_{Ed} + M_{z,max}$ dle vztahů:

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

kde:

- k_{yz}, k_{zz} – součinitelé interakce dle typu průřezu
- χ_y, χ_z – součinitelé ztráty stability (vzpěr v rovině a z roviny)

- Výpočet součinitelů interakce

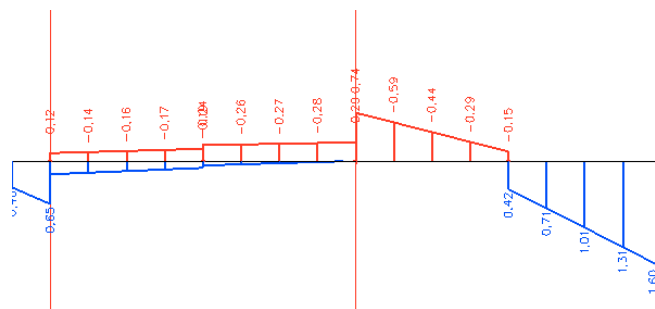
Výpočet součinitelů interakce k_{yy} a k_{zy} horního pásu průřezu HEA dle vztahu (viz tab. 13):

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

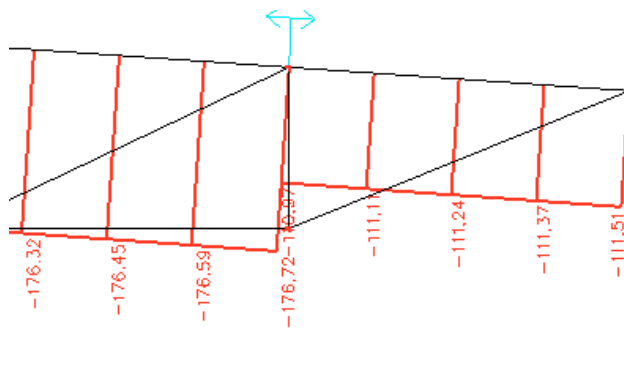
$$k_{yz} = k_{zz},$$

kde:

- C_{mz} – součinitel ekvivalentního konstantního momentu



Obr. 33: Maximální ohybový moment M_z na horním pásu třetího vazníku



Obr. 34: Detail normálové síly horního pásu třetího vazníku

- Výpočet součinitele C_{mz} viz Tab. 14:

$$C_{mz} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot \frac{0,42}{1,64} = 0,702 \geq 0,4$$

- Výpočet součinitele interakce viz *Tab. 13*:

$$N_{Ed} = -111,51 \text{ kN}$$

$$N_{Rk} = 1789,35 \text{ kN}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_{yd} = 355 \cdot 10^6 \cdot 2,04 \cdot 10^{-4} = 72,42 \text{ kN}$$

$$k_{zz} = 0,702 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0,688 - 0,2) \cdot \frac{111,51}{\frac{0,936 \cdot 1789,35}{1,0}} \right) = \mathbf{0,736}$$

$$k_{yz} = \mathbf{0,736}$$

- Posudek

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{111,51}{0,936 \cdot 1789,35} + 0,736 \frac{1,6}{\frac{72,42}{1,0}} = \mathbf{0,082 \leq 1}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{111,51}{1,0 \cdot 1789,35} + 0,890 \frac{1,6}{\frac{72,42}{1,0}} = \mathbf{0,079 \leq 1}$$

➤ **VYHOVÍ**

6.2. Posouzení únosnosti podélného ztužidla

Zatížení způsobené ochlazením konstrukce značně ovlivnilo průběh vnitřních sil. V podélném ztužidle vlivem tepelného zatížení došlo k jejich značnému nárůstu.

6.2.1. Horní rozpěrné pruty

Horní pruty podélného ztužidla jsou trubky čtvercového průřezu ($80\text{ mm} \times 4\text{ mm}$). Normálová tahová síla v rozpěrných trubkách (v podélných ztužidlech) postupně narůstá od krajních vazníků směrem ke středu konstrukce. Podélné ztužidlo je posuzováno na vliv tahového namáhání. Ohybové namáhání je nepatrné.

- Výpočet únosnosti v tahu

$$\text{Mez kluzu: } f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{235}{1,0} = 235\text{ MPa}$$

$$\text{Návrhová pevnost: } N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$\text{Modul pružnosti v tahu a tlaku: } E = 210\text{ GPa}$$

$$\text{Průřezové charakteristiky trubky čtvercového průřezu 80/80/4: } \begin{aligned} A &= 11,75 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2 \\ I_z &= 11,1 \cdot 10^{-7}\text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\text{Vzpěrná délka: } L_{cr} = L \cdot 0,75 = 6 \cdot 0,75 = 4,5\text{ m}$$

- Výpočet součinitele vzpěrnosti

Součinitel vzpěru je shodný s výpočtem viz 5.2.

$$\text{Kritická štíhlost: } \bar{\lambda} = 2,556, \text{ kde}$$

$$\sigma_{cr} = 54,33\text{ MPa}$$

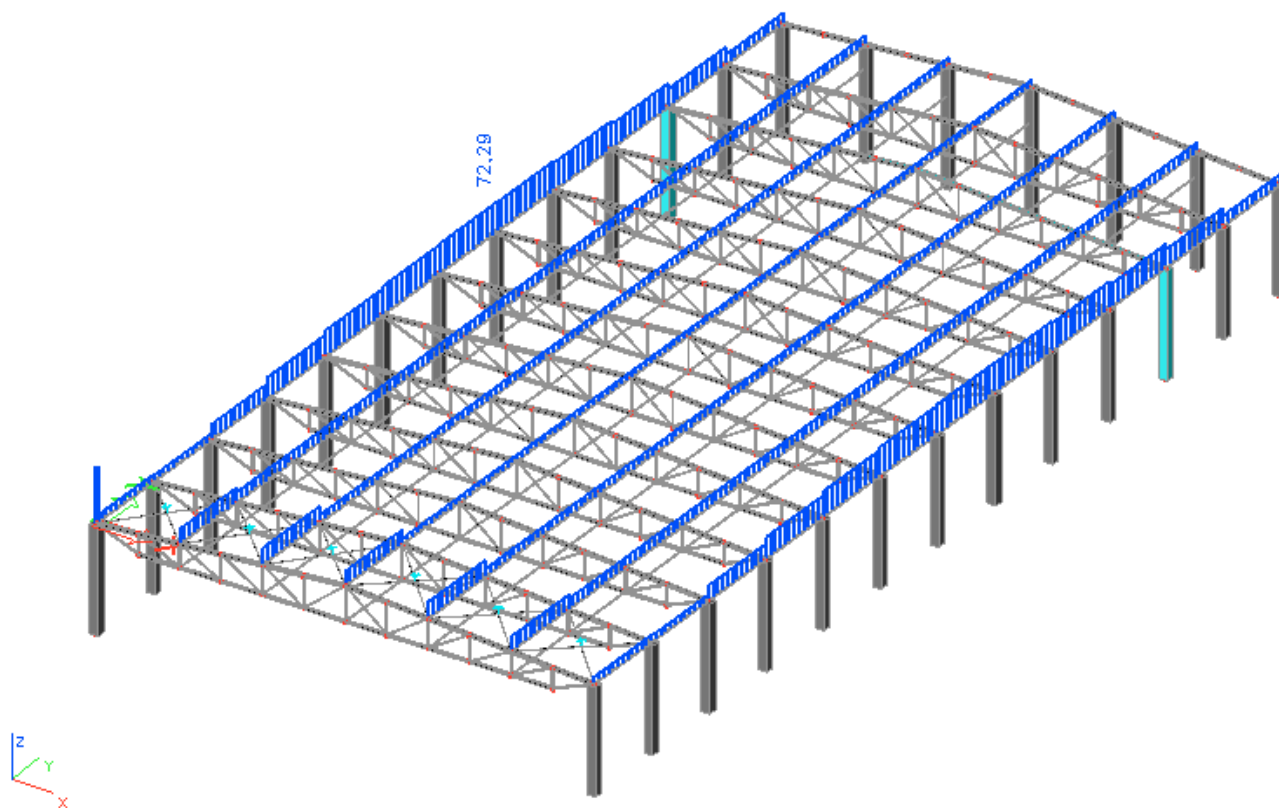
$$\text{pružná kritická síla: } N_{cr} = 63,84\text{ kN}$$

$$\text{poměrná štíhlost: } \lambda = 195,312$$

$$\text{součinitel vzpěru: } \chi = \mathbf{0,14}$$

- Posouzení únosnosti na tlakové namáhání

V horních podélných ztužidlech nevzniká žádné tlakové namáhání.



Obr. 35: Normálové síly horních podélných ztužidel (s vlivem ochlazení)

- Posouzení únosnosti na tahové namáhání

Rozhodující kombinace zatížení:

KO13 – vlastní tíha (1,00) + stálé (1,00) + teplota (1,5) viz Tab. 20

Únosnost podélného ztužidla při tahovém namáhání je určena vztahem:

$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$. Musí přitom platit $N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$.

$$N_{Ed} = 72,29 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 11,75 \cdot 10^{-4} = 276,13 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$276,13 \text{ kN} \geq 72,29 \text{ kN}$$

➤ VYHOVÍ

6.2.2. Dolní rozpěrné pruty

Dolní pruty podélného ztužidla jsou trubky čtvercového průřezu ($70\text{ mm} \times 4\text{ mm}$). Pruty jsou posuzovány na tahové namáhání, které vzrůstá od kraje směrem ke štítové stěně haly. Tlakové namáhání je zanedbatelné ($N_{\max} = -0,76\text{ kN}$).

- Výpočet únosnosti v tahu

$$\text{Mez kluzu: } f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{235}{1,0} = 235\text{ MPa}$$

$$\text{Návrhová pevnost: } N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A$$

$$\text{Modul pružnosti v tahu a tlaku: } E = 210\text{ GPa}$$

$$\text{Průřezové charakteristiky trubky čtvercového průřezu 70/70/4: } A = 10,15 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2$$

- Posouzení únosnosti na tahové namáhání

Rozhodující kombinace zatížení:

KO13 – vlastní tíha (1,00) + stálé (1,00) + teplota (1,5) viz Tab. 20

Únosnost podélného ztužidla při tahovém namáhání je určena vztahem:

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}. \text{ Musí přitom platit } N_{t,Rd} \geq N_{Ed}.$$

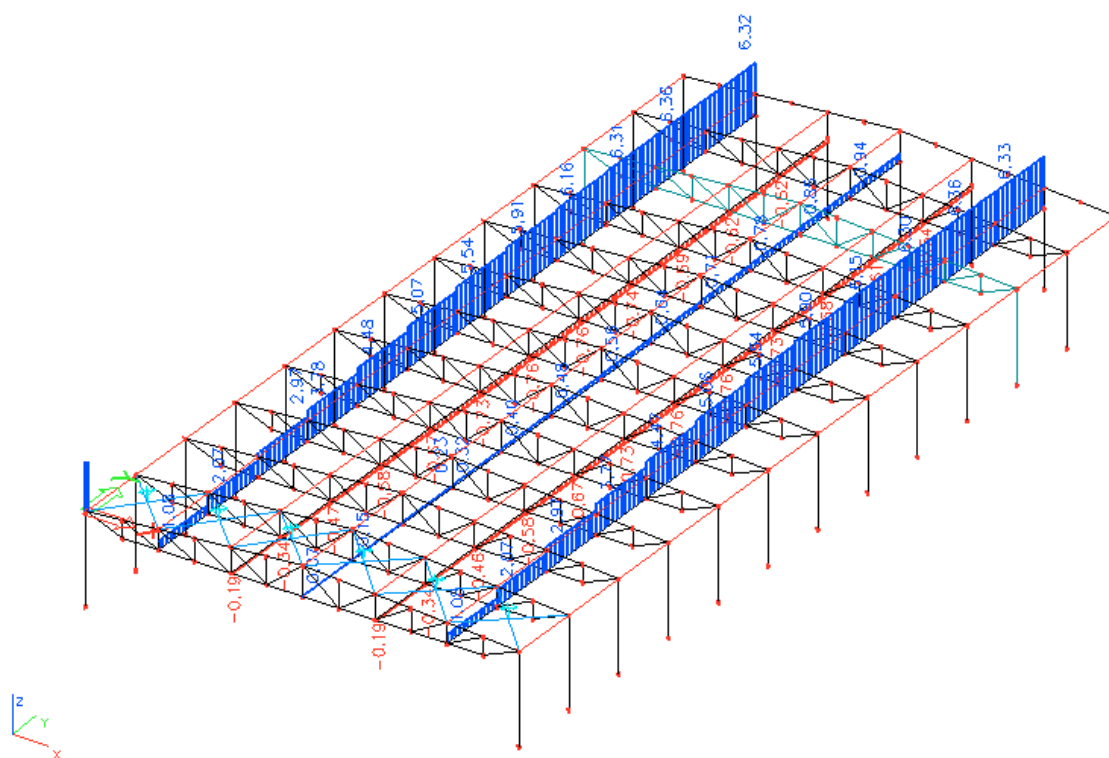
$$N_{Ed} = 6,33\text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = f_{yd} \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 10,15 \cdot 10^{-4} = 239,54\text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$239,54\text{ kN} \geq 6,33\text{ kN}$$

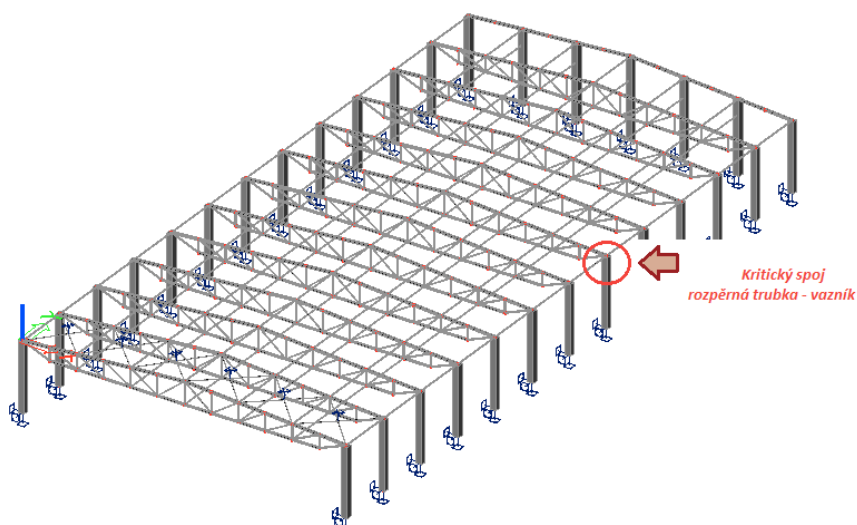
➤ VYHOVÍ



Obr. 36: Normálové síly dolních podélných ztužidel (s vlivem ochlazení)

6.3. Posouzení únosnosti šroubového spoje rozpěrná trubka – vazník

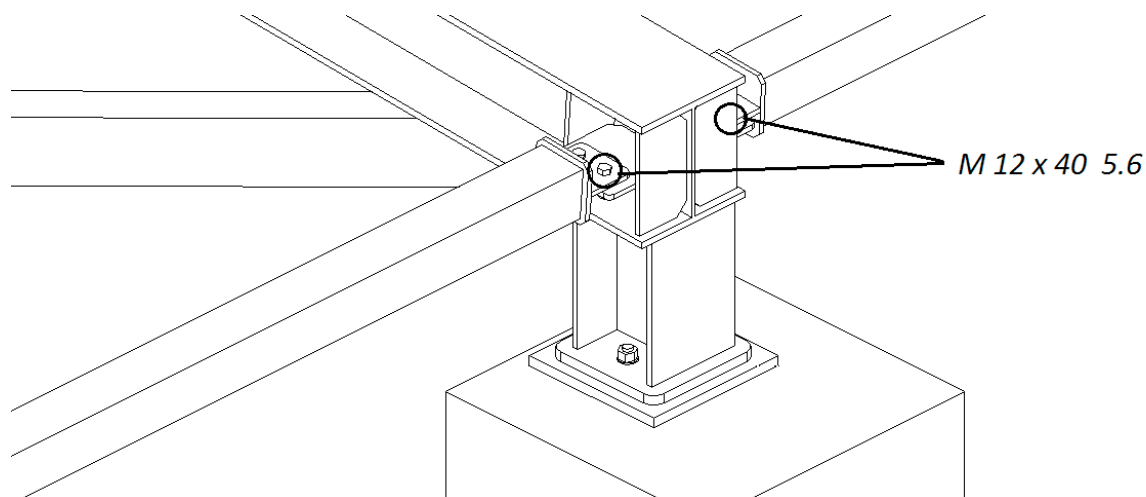
Rozpěrná trubka a vazník je spojen dvěma šrouby M 12, pevnostní třídy 5.6, pomocí plechu P8 z oceli S235. Jedná se o jednostřížný spoj posuzován na únosnost ve stříhu a v otláčení.



Obr. 37: Kritický spoj mezi rozpěrnou trubkou a vazníkem

Parametry šroubu:

- Průměr otvoru pro šroub: $d_0 = 13 \text{ mm}$
- Průměr šroubu: $d = 12 \text{ mm}$
- Rozteč šroubu: $e_1 = 30 \text{ mm}$
- Mez kluzu: $f_{yb} = 300 \text{ MPa}$
- Mez pevnosti: $f_{ub} = 500 \text{ MPa}$
- Mez pevnosti spojovaného plechu: $f_u = 360 \text{ MPa}$
- Plocha jádra šroubu: $A_s = 84,3 \text{ mm}^2$
- Plocha dřívku šroubu: $A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot 6^2 = 113 \text{ mm}^2$
- Dílčí součinitel spolehlivost: $\gamma_{M2} = 1,25$
- Pro pevnostní třídu 5.6: $\alpha_v = 0,6$



Obr. 38: Detail posuzovaného spoje rozpěrná trubka - vazník

Únosnost spoje ve stříhu

1. Rovina stříhu prochází závitem:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 84,3}{1,25} \cdot 10^{-3} = 40,5 \text{ kN}$$

3. Rovina stříhu prochází dřívkem:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 113}{1,25} \cdot 10^{-3} = 54,2 \text{ kN}$$

- Posudek na střih

Síla působící v místě spoje bez vlivu zatížení teplotou: $F_{Ed} = 72,62 \text{ kN}$

Musí platit

$$F_{v,Rd} \geq F_{Ed}$$

$$40,5 \text{ kN} \leq 72,29 \text{ kN}$$

➤ NEVYHOVÍ

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}, \text{ kde}$$

$$\alpha_b = \min \left[\begin{array}{l} 1,0 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{360} = 1,39 \\ \frac{e_1}{3d_0} = \frac{30}{3 \cdot 13} = 0,769 \end{array} \right] = 0,769$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{13} - 1,7 = 4,76 \end{array} \right] = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,769 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 8}{1,25} = 106,3 \text{ kN}$$

- Posudek na otláčení

Síla působící v místě spoje bez vlivu zatížení teplotou: $F_{Ed} = 72,62 \text{ kN}$

Musí platit

$$F_{v,Rd} \geq F_{Ed}$$

$$106,3 \text{ kN} \geq 72,29 \text{ kN}$$

➤ VYHOVÍ

7. Porovnání výsledků bez vlivu změny teploty a s vlivem teploty

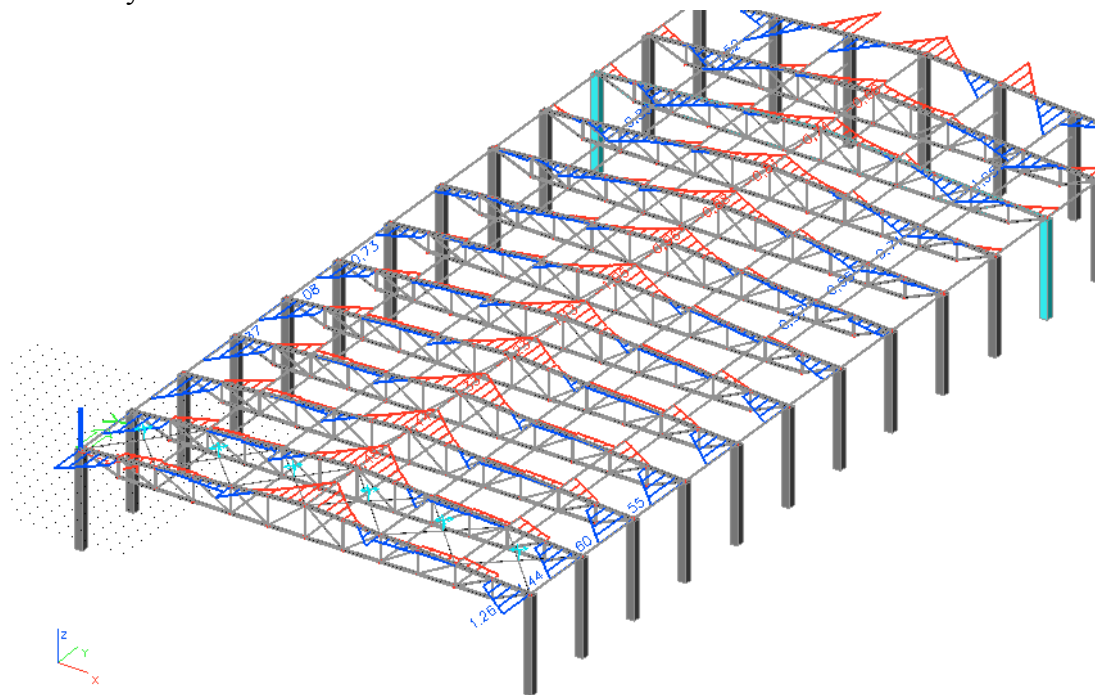
Teplotní zatížení se projeví zejména v podélném ztužidle. V příčném směru haly se zatížení vlivem poklesu teploty neprojeví. Ochlazení má zanedbatelný vliv na změnu vnitřních sil v příčném směru haly. Maximální namáhání převyšuje návrhovou únosnost šroubového spoje ve střihu v místě spojení rozpěrných trubek s vazníkem.

7.1. Změna vnitřních sil vlivem ochlazení

Změna napjatosti se téměř neprojeví na prutech vazníků. Velikost normálových sil N a ohybových momentů M_y a M_z při zatížení vlivem ochlazení na nich vzrostly minimálně. Změna nastala u ohybových momentů M_z na horních pásech. Vlivem ochlazení velikost těchto momentů vzrostla v krajních částech vazníků. Vzrůst ohybových momentů však není tak významný a nemá vliv na únosnost horních pásů, jak potvrdil výpočet v kapitole 6.1.4.2. Účinky ochlazení se tak v příčném směru ocelové haly významně neprojeví.

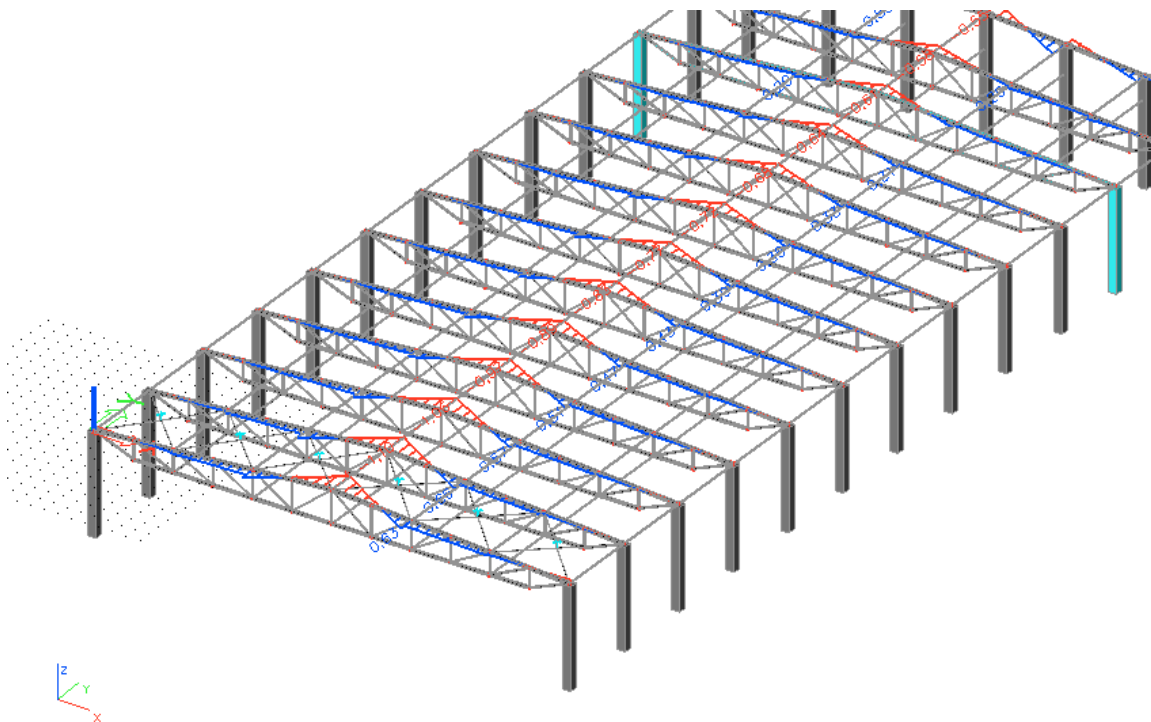
7.1.1. *Účinky ochlazení v příčném směru*

- a) Na horních pásech
 - Účinky zatížení s vlivem ochlazení



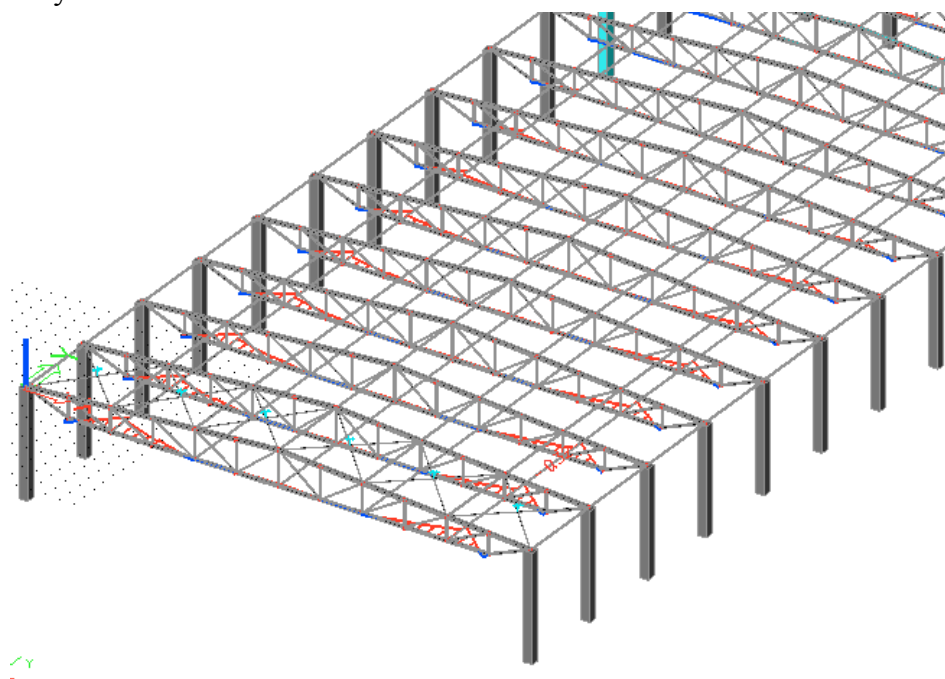
Obr. 39: Ohybové momenty M_z na horních pásech ($M_{z,max} = 1,6 \text{ kNm}$)

- Účinky zatížení bez vlivu ochlazení



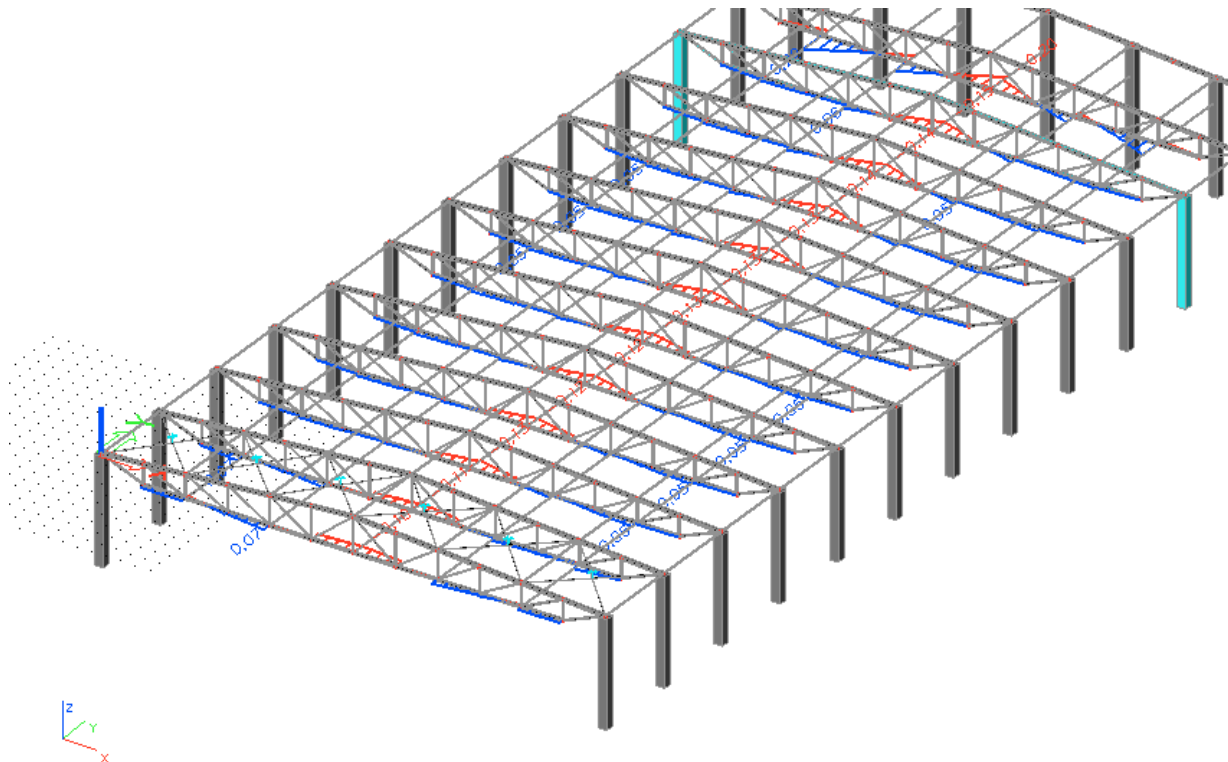
Obr. 40: Ohybové momenty M_z na horních pásech ($M_{z,max} = -0,8 \text{ kNm}$)

- b) Na dolních pásech
- Účinky zatížení s vlivem ochlazení



Obr. 41: Ohybové momenty M_z na dolních pásech ($M_{z,max} = -0,3 \text{ kNm}$)

- Účinky zatížení bez vlivu ochlazení

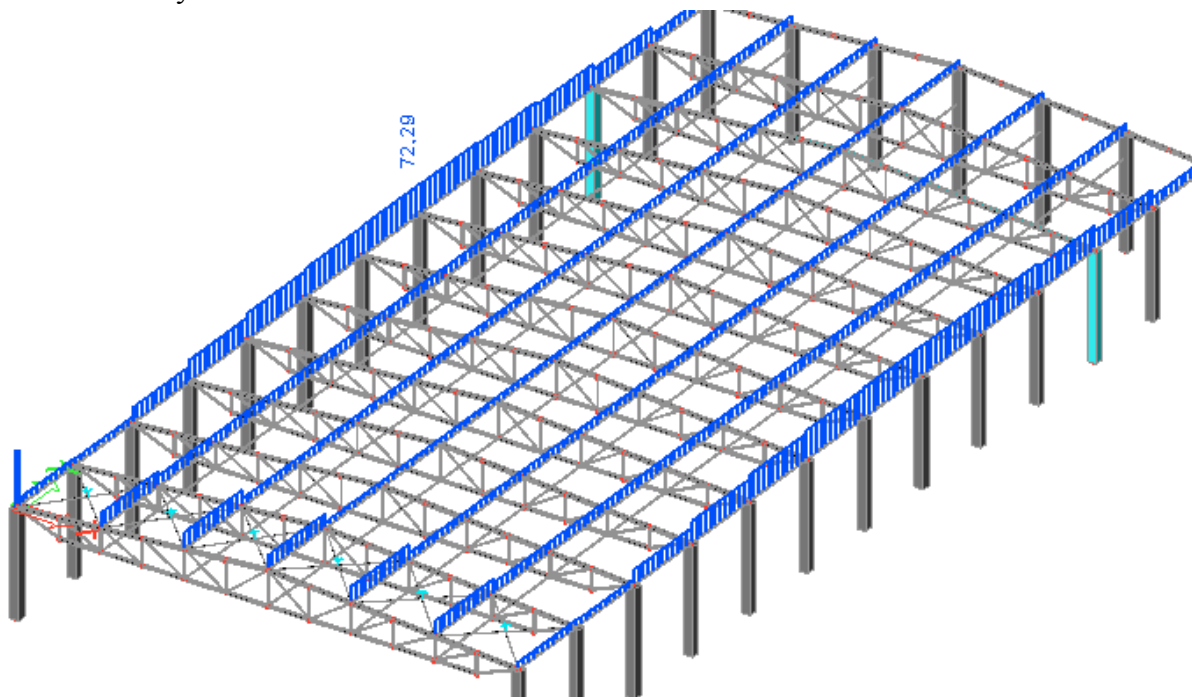


Obr. 42: Ohybové momenty M_z na dolních pásech ($M_{z,max} = -0,1 \text{ kNm}$)

7.1.2. Účinky ochlazení v podélném směru

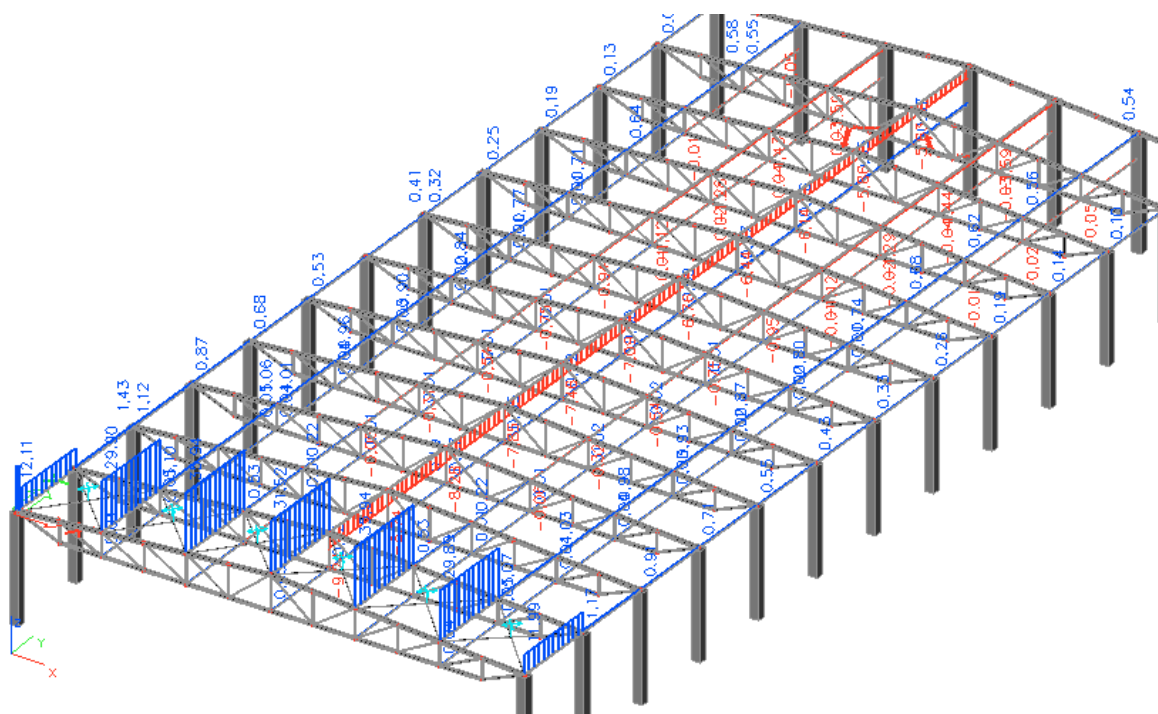
Nezanedbatelný vliv teplotní změny se projeví na prutech podélného ztužidla, zejména tak na horních rozpěrných trubkách. Značná změna napjatosti prutů se projeví v podélném směru ocelové haly.

- a) V horních rozpěrných prutech:
- Účinky zatížení s vlivem ochlazení



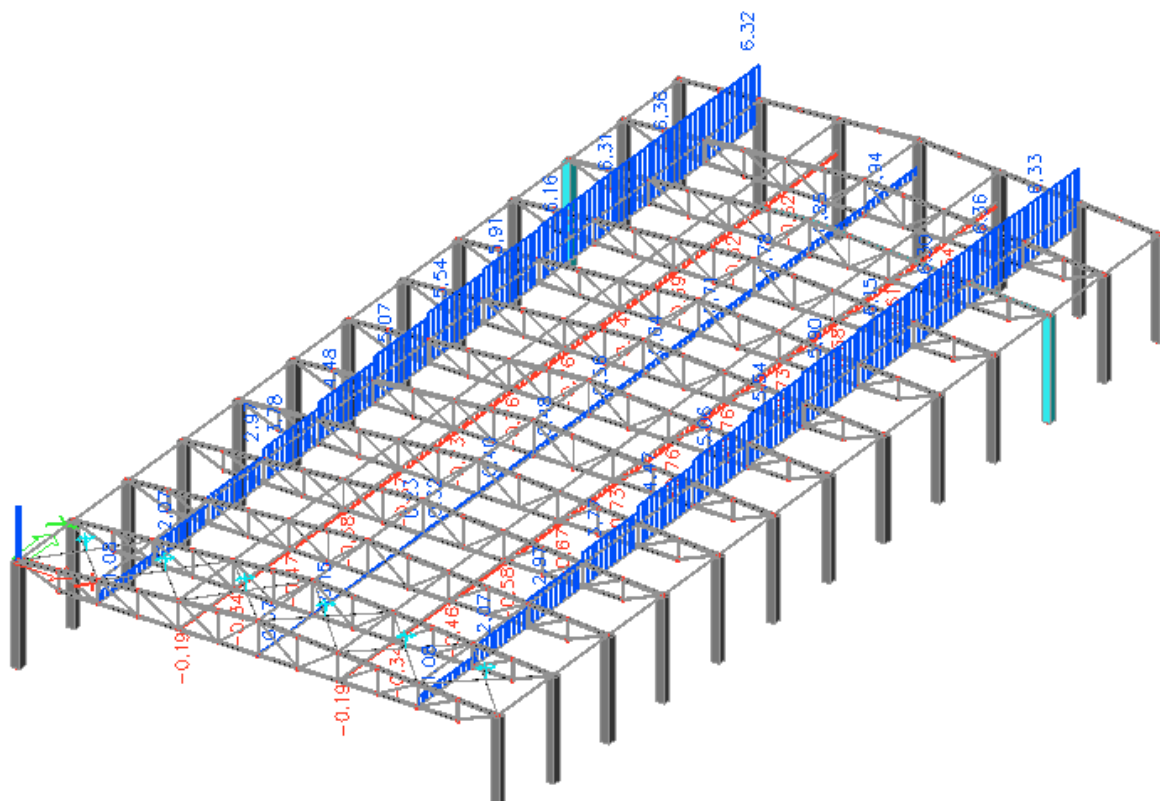
Obr. 43: Normálové síly v horních rozpěrných prutech ($N_{max} = 72,62 \text{ kN}$)

- Účinky zatížení bez vlivu ochlazení



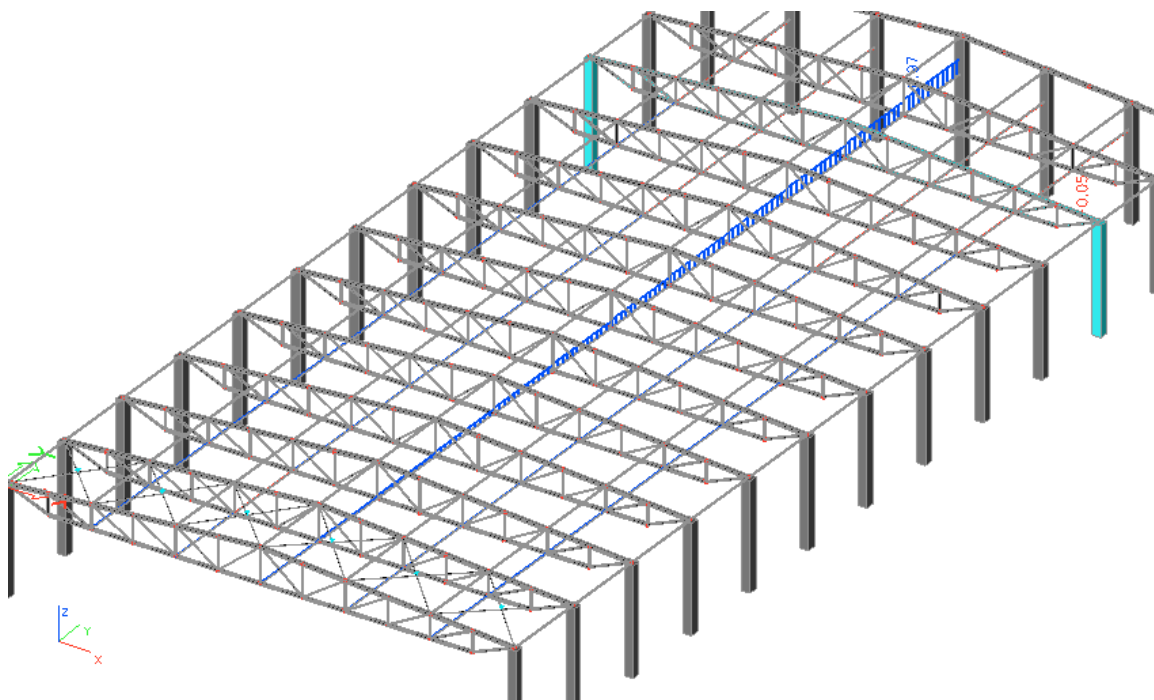
Obr. 44: Normálové síly v horních rozpěrných prutech ($N_{max} = 35,94 \text{ kN}$)

- b) V dolních rozpěrných prutech
- Účinky zatížení s vlivem ochlazení



Obr. 45: Normálové síly v dolních rozpěrných prutech ($N_{max} = 6,32 \text{ kN}$)

- Účinky zatížení bez vlivu ochlazení



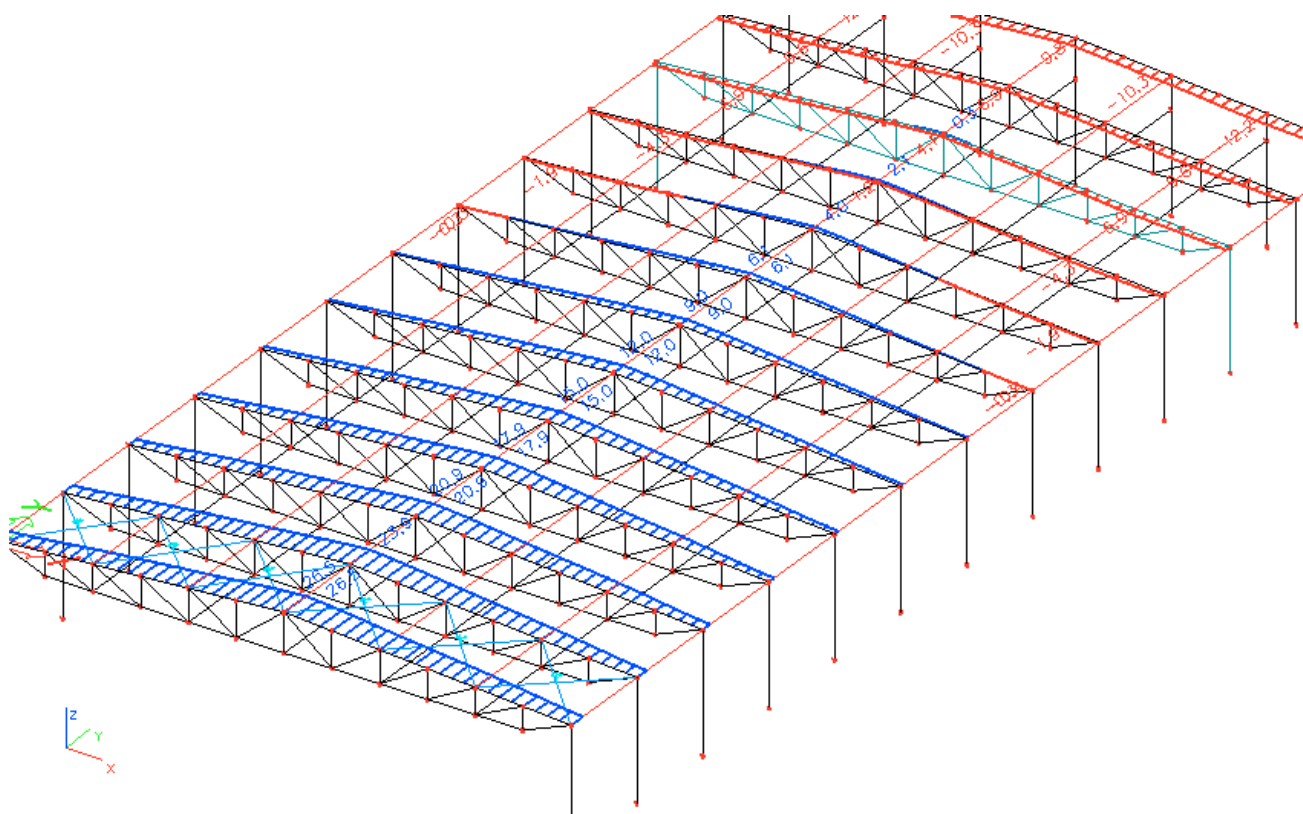
Obr. 46: Normálové síly v dolních rozpěrných prutech ($N_{max} = 0,97 \text{ kN}$)

7.2. Změna deformací vlivem ochlazení

- Deformace ve směru osy „y“

a) Horní pás vazníku s teplotním zatížením:

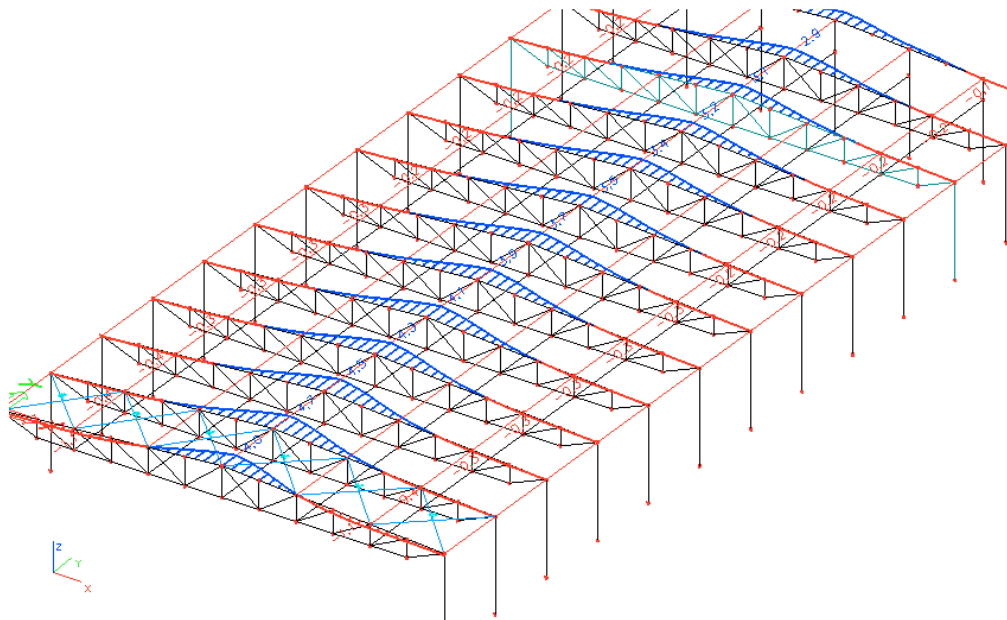
Deformace na horních pásech nabývají největší hodnoty na krajním vazníku. Směrem k uložení sloupů a v podélném směru se deformace zmenšuje.



Obr. 47: Podélná deformace horních pásů vazníků s teplotním zatížením ($\delta_{y,max} = 26,5 \text{ mm}$)

b) Horní pás vazníku bez teplotního zatížení:

Deformace na horních páslech bez teplotního zatížení nabývají téměř zanedbatelných hodnot. Největší hodnoty deformací jsou ve středech vazníků.

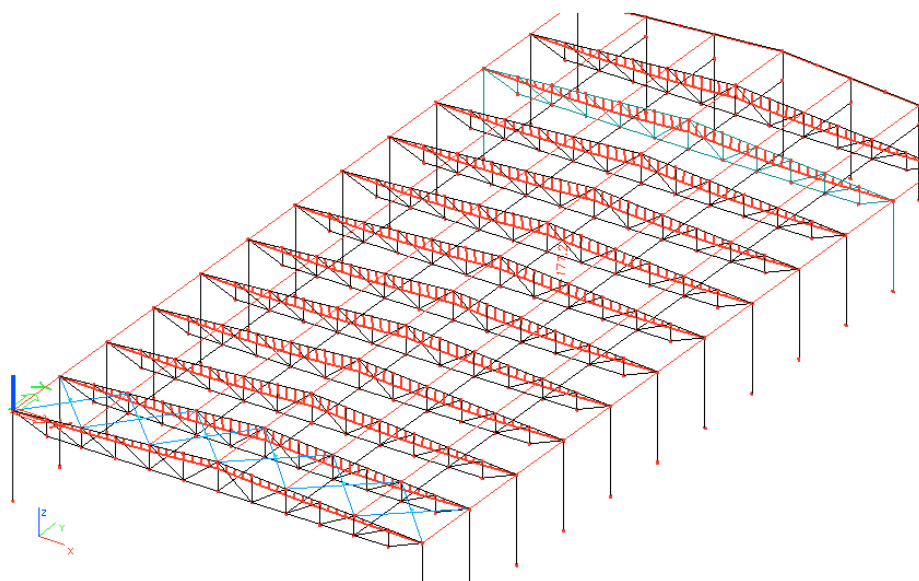


Obr. 48: Příčná deformace bez teplotního zatížení ($\delta_{y,max} = 4,5 \text{ mm}$)

- Deformace ve směru osy „z“

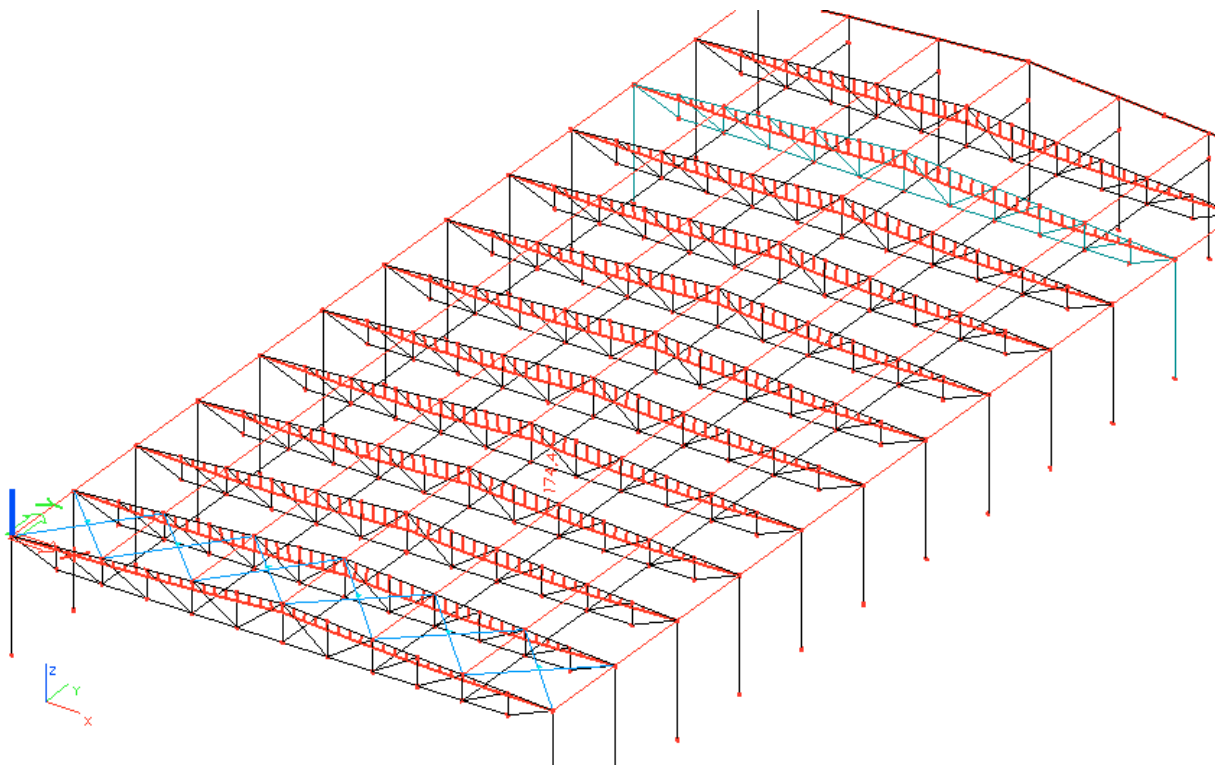
Deformace ve směru osy z se při zatížení s vlivem a bez vlivu teplotního zatížení téměř neliší.

a) Horní pás vazníku s teplotním zatížením:



Obr. 49: Příčná deformace s teplotním zatížením ($\delta_{z,max} = -177,2 \text{ mm}$)

b) Horní pás vazníku bez teplotního zatížení:



Obr. 50: Příčná deformace horních pásů vazníků bez teplotního zatížení

$$(\delta_{z,max} = -174,4 \text{ mm})$$

8. ZÁVĚR

Výpočet prokázal, že zatížení vlivem poklesu teploty o 30° má významný vliv na změnu napjatosti v podélném směru konstrukce ocelové haly. Nárůst vnitřních sil se projeví v podélném směru haly na únosnosti šroubového spoje. Bez vlivu teplotního zatížení tahová síla v kritickém spoji nabývala zanedbatelné hodnoty $N_t = 0,26 \text{ kN}$. S vlivem teplotního zatížení tahová síla vzrostla až na $N_{t,T} = 72,29 \text{ kN}$

Toto má za následek ztrátu únosnosti šroubového spoje vazníku a rozpěrné trubky.

9. Příloha

9.1. Výpis kombinací zatěžovacích stavů

9.1.1. *Bez teplotního zatížení*

Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [1]
CO2	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé	1,35 1,35
CO3	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé LC4 – sníh celý	1,35 1,35 0,75
CO4	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé LC3 – užité	1,35 1,35 1,50
CO5	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé LC3 – užité LC4 – sníh celý	1,35 1,35 1,50 0,75
CO6	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé	1,00 1,00
CO7	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé LC4 – sníh celý	1,00 1,00 0,75
CO8	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé LC3 – užité	1,00 1,00 1,50
CO9	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé LC3 – užité LC4 – sníh celý	1,00 1,00 1,50 0,75
CO10	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé LC4 – sníh celý	1,35 1,35 1,50
CO11	Lineární – únosnost	LC1 – vlastní tíha LC2 – stálé LC4 – sníh celý	1,00 1,00 1,50

Tab. 19: Výpis kombinací zatěžovacích stavů bez zatížení teplotou

9.1.2. S teplotním zatížením

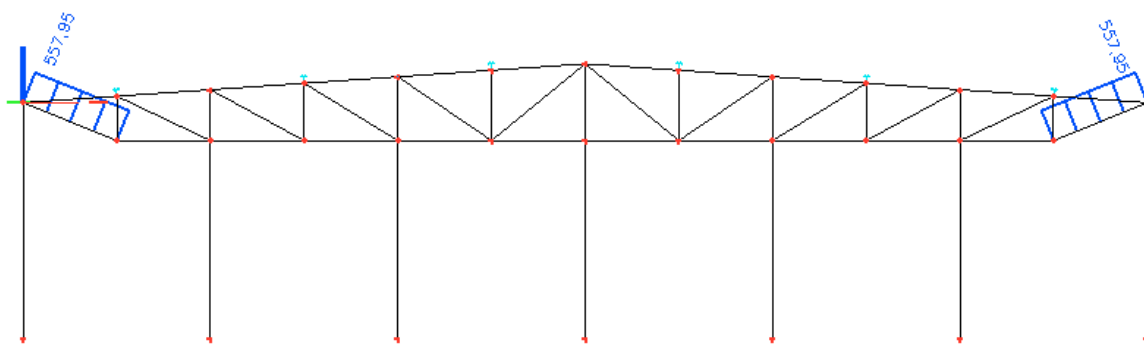
Jméno	Typ	Zatěžovací stavy	Souč. [1]
KO1	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC5 - teplota	1,35 1,35 0,90
KO2	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC4 - sníh celý LC5 - teplota	1,35 1,35 0,75 0,90
KO3	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC3 - užité LC5 - teplota	1,35 1,35 1,50 0,90
KO4	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC3 - užité LC4 - sníh celý LC5 - teplota	1,35 1,35 1,50 0,75 0,90
KO5	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC5 - teplota	1,00 1,00 0,90
KO6	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC4 - sníh celý LC5 - teplota	1,00 1,00 0,75 0,90
KO7	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC3 - užité LC5 - teplota	1,00 1,00 1,50 0,90
KO8	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC3 - užité LC4 - sníh celý LC5 - teplota	1,00 1,00 1,50 0,75 0,90
KO9	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC4 - sníh celý LC5 - teplota	1,35 1,35 1,50 0,90
KO10	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC4 - sníh celý LC5 - teplota	1,00 1,00 1,50 0,90
KO11	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha LC2 - stálé LC5 - teplota	1,35 1,35 1,50

KO12	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha	1,35
		LC2 - stálé	1,35
		LC4 - sníh celý	0,75
		LC5 - teplota	1,50
KO13	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha	1,00
		LC2 - stálé	1,00
		LC5 - teplota	1,50
KO14	Lineární - únosnost	LC1 - vlastní tíha	1,00
		LC2 - stálé	1,00
		LC4 - sníh celý	0,75
		LC5 - teplota	1,50

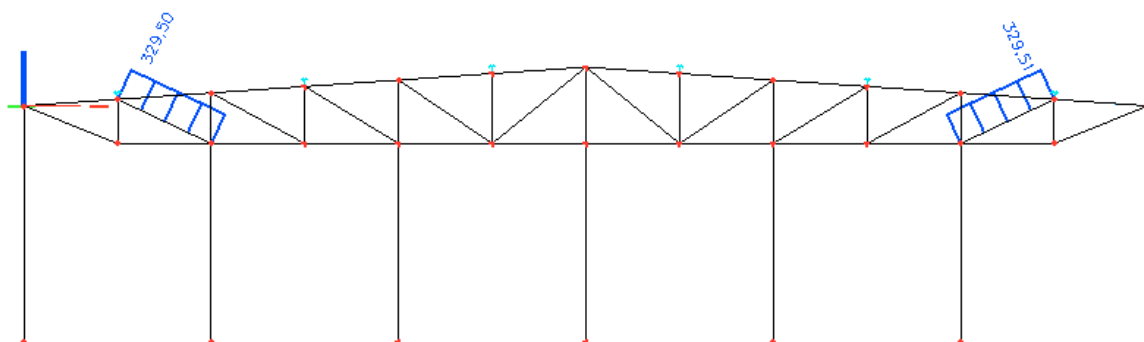
Tab. 20: Výpis kombinací zatěžovacích stavů s teplotním zatížením

9.2. Normálové síly na prutech vazníku

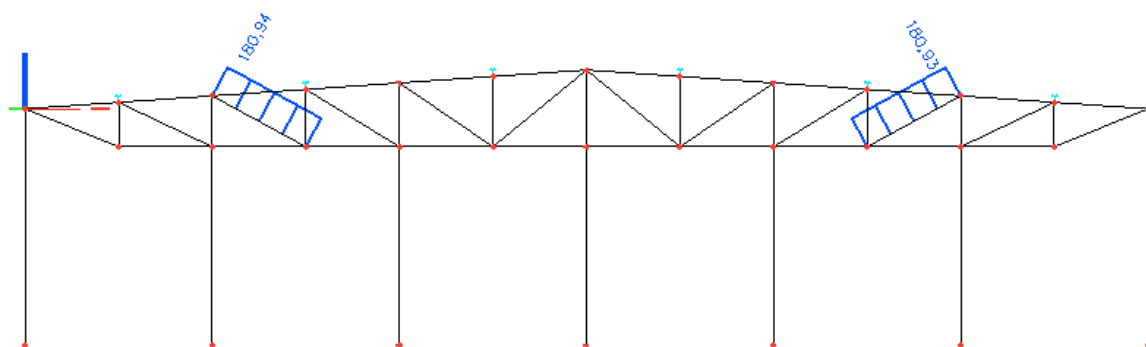
9.2.1. Bez teplotního zatížení



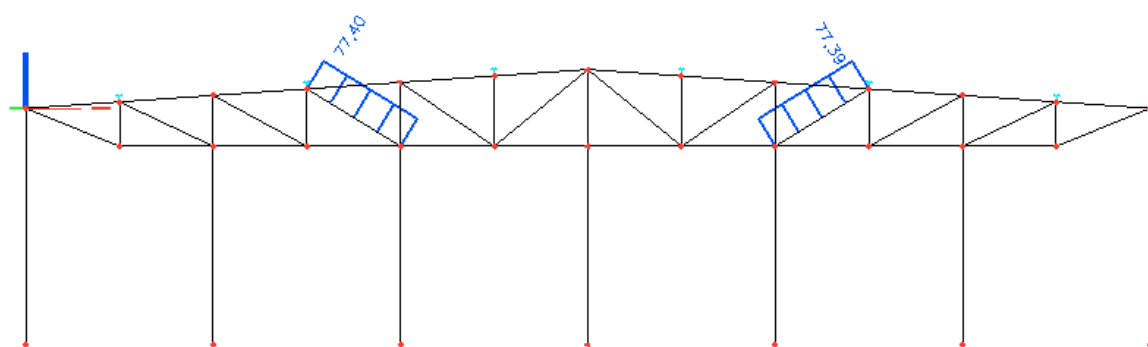
Obr. 51: Normálové síly na diagonálách D1 bez teplotního zatížení



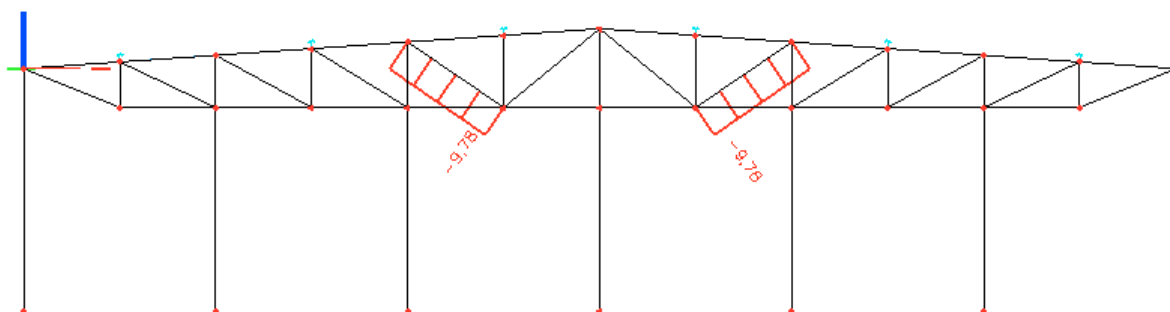
Obr. 52: Normálové síly na diagonálách D2 bez teplotního zatížení



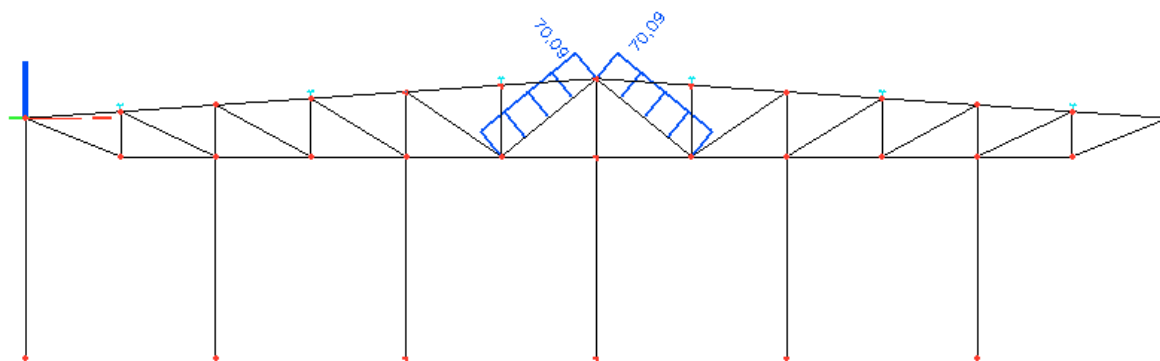
Obr. 53: Normálové síly na diagonálách D3 bez teplotního zatížení



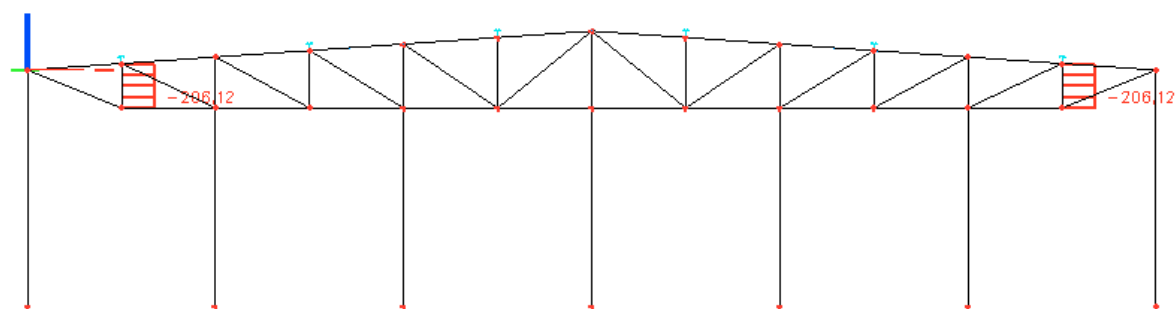
Obr. 54: Normálové síly na diagonálách D4 bez teplotního zatížení



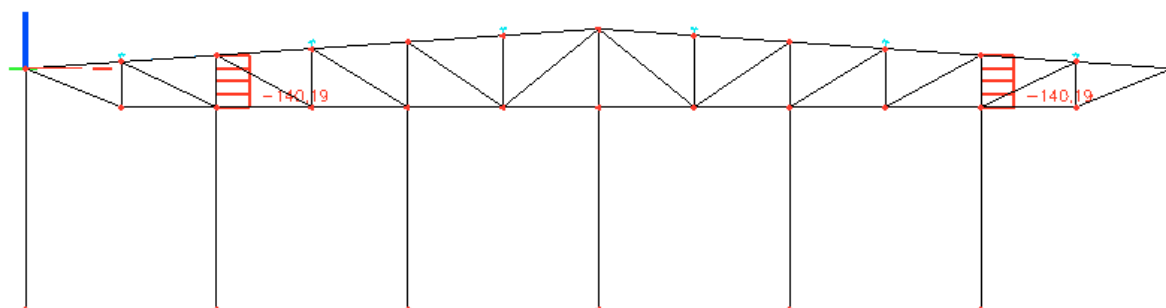
Obr. 55: Normálové síly na diagonálách D5 bez teplotního zatížení



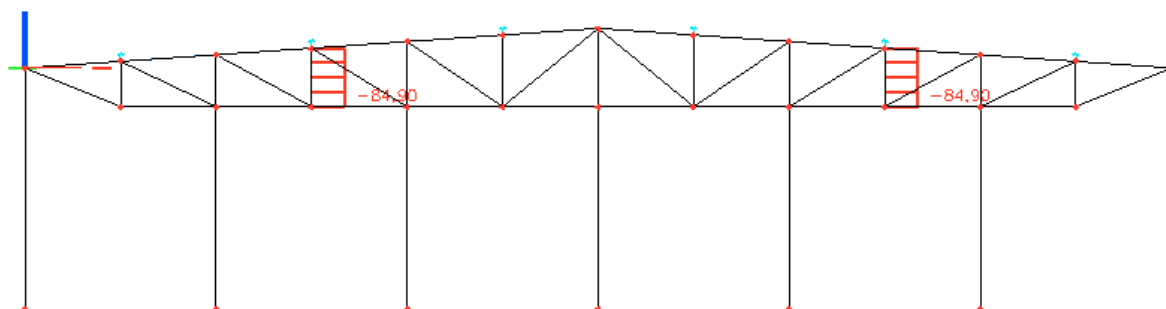
Obr. 56: Normálové síly na diagonálách D6 bez teplotního zatížení



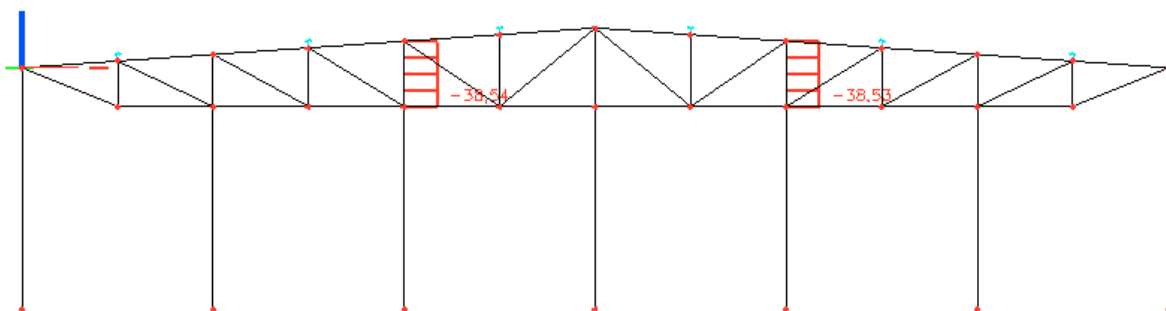
Obr. 57: Normálové síly na vertikálách V1 bez teplotního zatížení



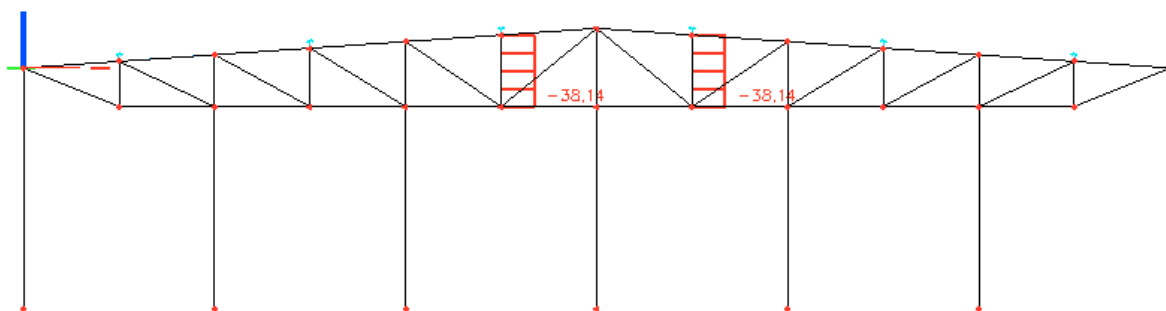
Obr. 58: Normálové síly na vertikálách V2 bez teplotního zatížení



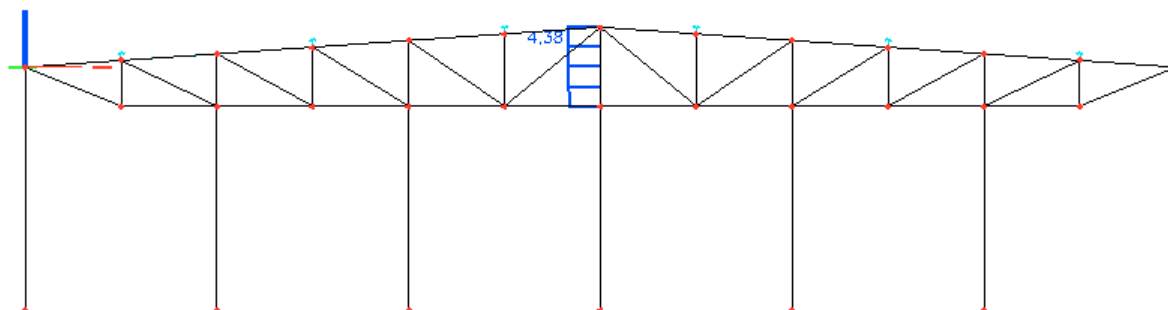
Obr. 59: Normálové síly na vertikálách V3 bez teplotního zatížení



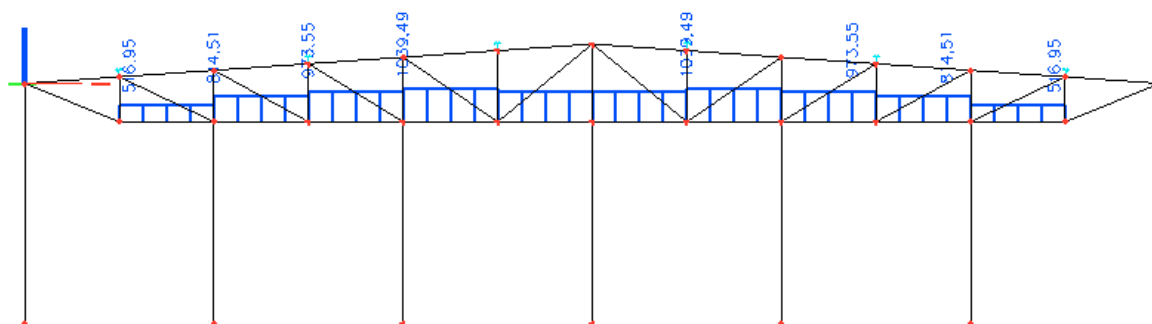
Obr. 60: Normálové síly na vertikálách V4 bez teplotního zatížení



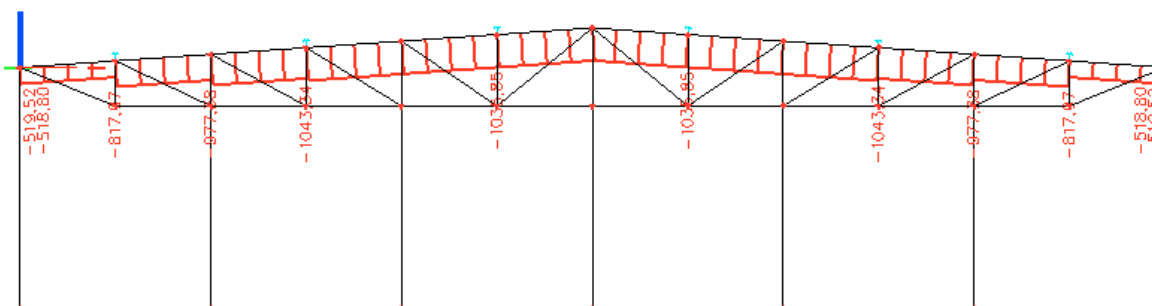
Obr. 61: Normálové síly na vertikálách V5 bez teplotního zatížení



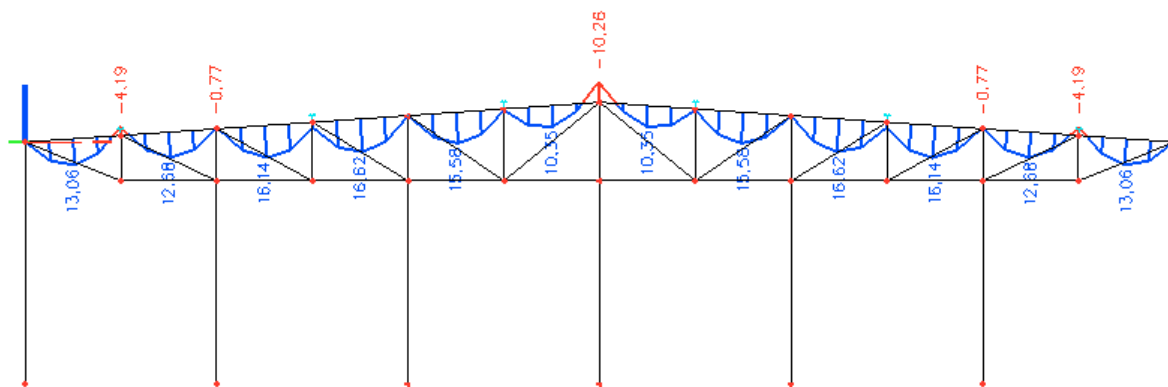
Obr. 62: Normálové síly na vertikálách V6 bez teplotního zatížení



Obr. 63: Normálové síly na dolním pásu bez teplotního zatížení

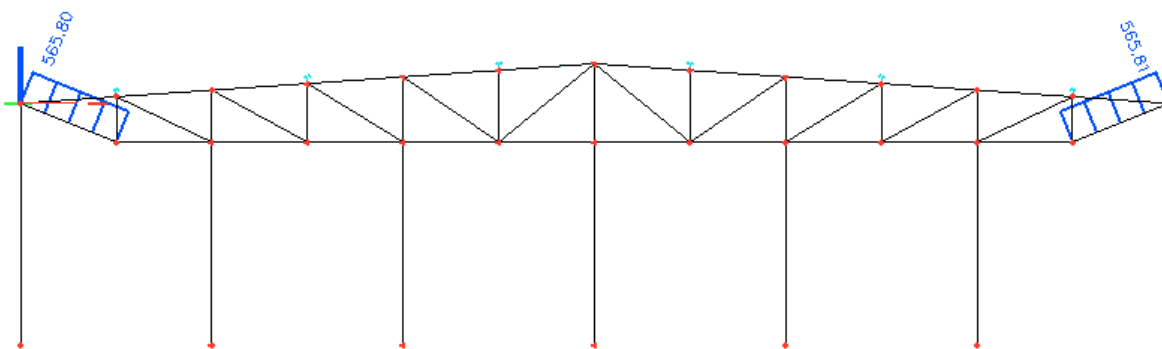


Obr. 64: Normálové síly na horním pásu bez teplotního zatížení

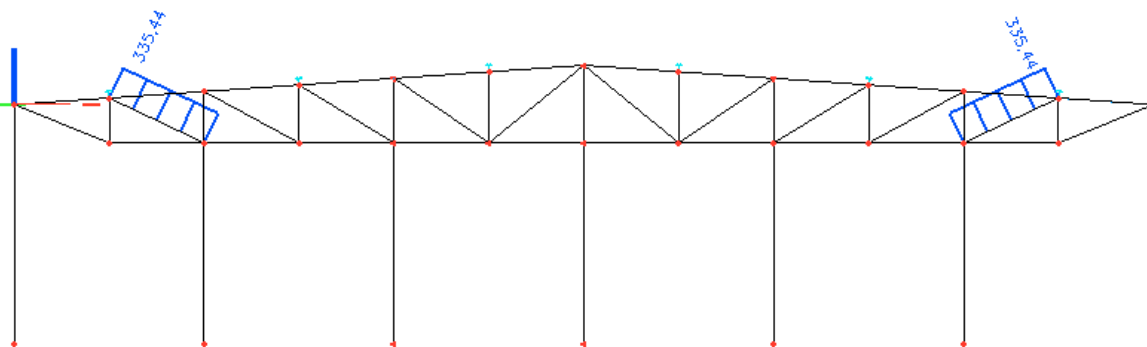


Obr. 65: Ohybové momenty M_y na horním pásu bez teplotního zatížení

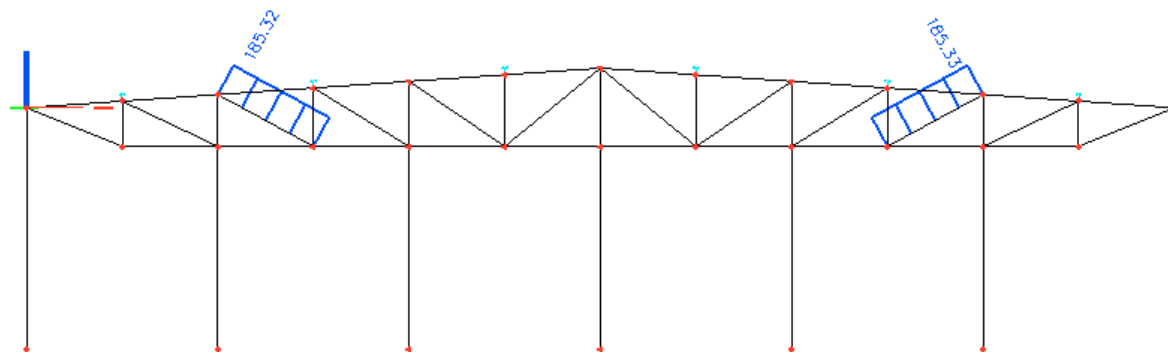
9.2.2. S teplotním zatížením:



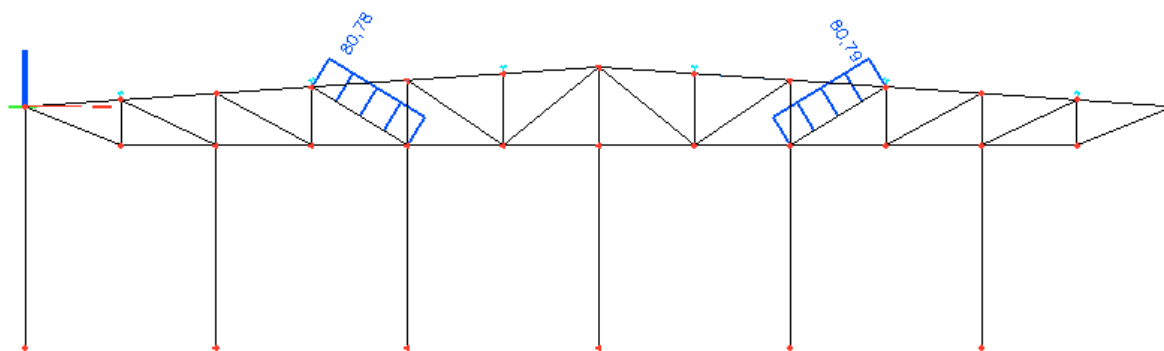
Obr. 66: Normálové síly na diagonálách D1 s teplotním zatížením



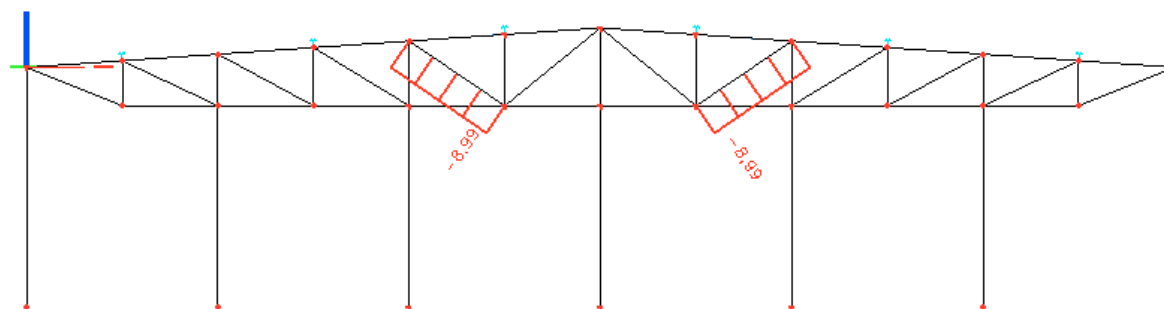
Obr. 67: Normálové síly na diagonálách D2 s teplotním zatížením



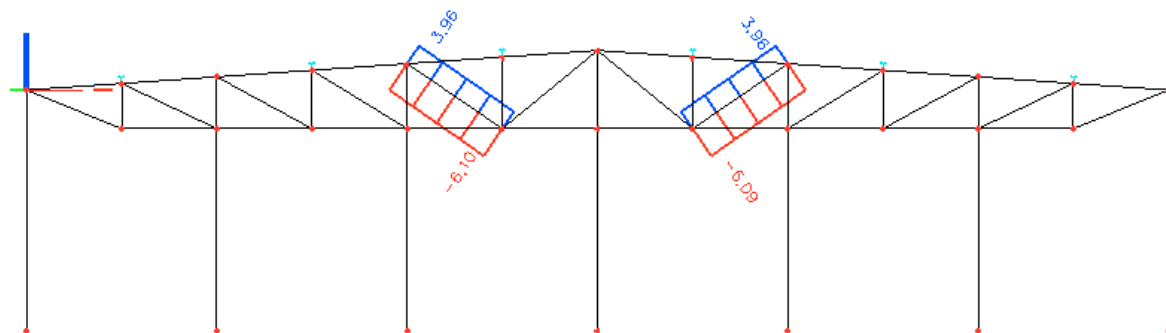
Obr. 68: Normálové síly na diagonálách D3 s teplotním zatížením



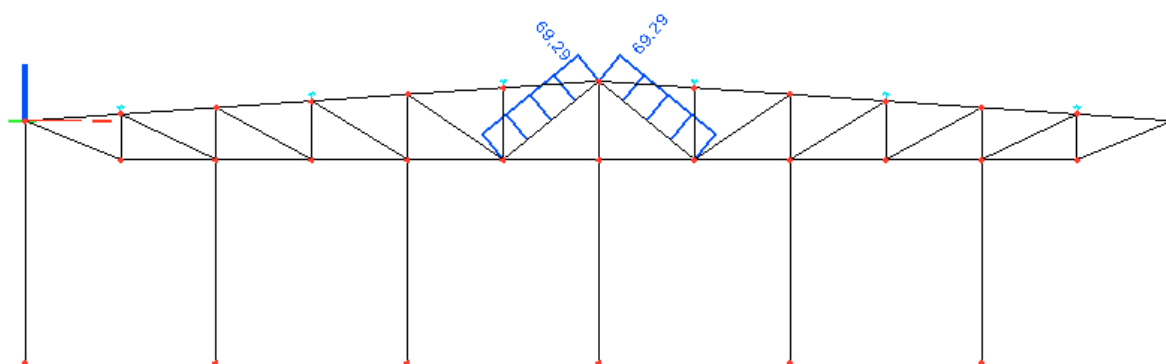
Obr. 69: Normálové síly na diagonálách D4 s teplotním zatížením



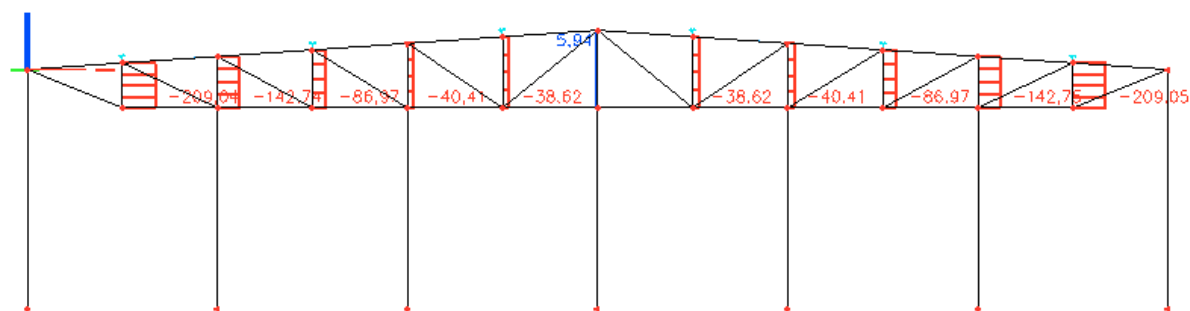
Obr. 70: Normálové síly na diagonálách D5 s teplotním zatížením (tlak)



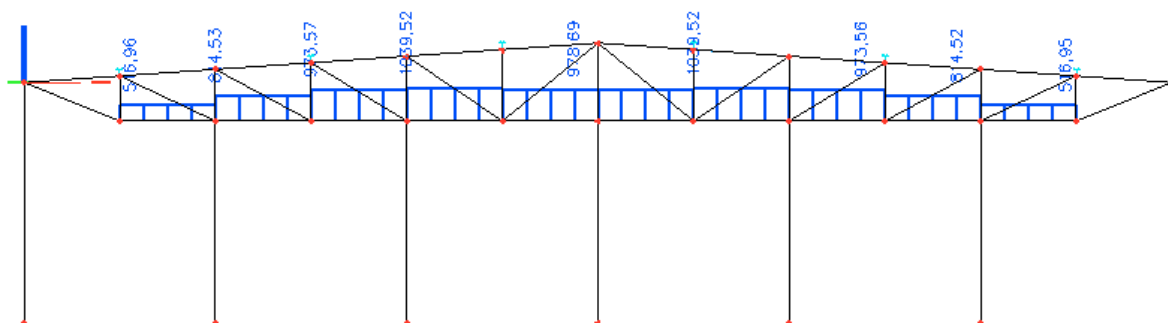
Obr. 71: Normálové síly na diagonálách D5 s teplotním zatížením (tah)



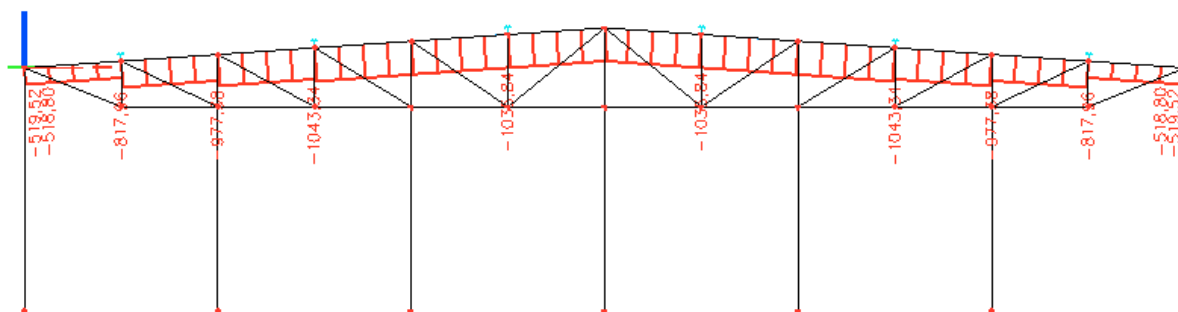
Obr. 72: Normálové síly na diagonálách D6 s teplotním zatížením



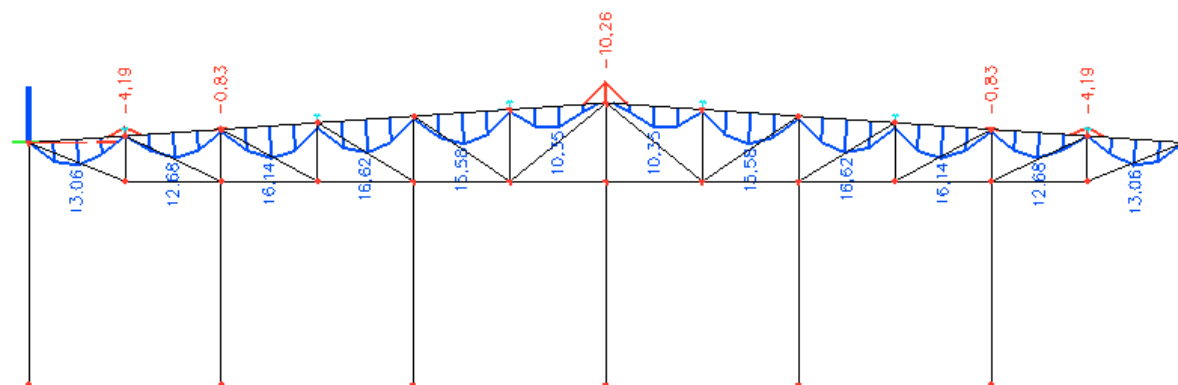
Obr. 73: Normálové síly na vertikálách s teplotním zatížením



Obr. 74: Normálové síly na dolním pásu s teplotním zatížením



Obr. 75: Normálové síly na horním pásu s teplotním zatížením



Obr. 76: Ohybové momenty M_y na horním pásu s teplotním zatížením

10. Seznam použitých norem a podkladů

10.1. Normy

Při výpočtu byly použity tyto normy:

- [1] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. ČNI, 2004
- [2] ČSN EN 1991-1-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI, 2004
- [3] ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem. ČNI, 2005
- [4] ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem. ČNI, 2007
- [5] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Zatížení teplotou. ČNI, 2005
- [6] ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. ČNI, 2006
- [7] ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků. ČNI, 2006

10.2. Podklady

Při výpočtu byly použity tyto podklady:

- [8] Znalecký posudek vlivu ochlazení konstrukce oproti montážní teplotě, vypracoval Ing. Vít Křivý, Ph.D.
- [9] Statický výpočet ocelové konstrukce Střešní vazníky se zavětrováním, vypracoval Ing. Miloslav Šeliga, STACAD s.r.o
- [10] Zjištění příčin havárie střechy GRAMMER Tachov – Kontrolní statický přepočet, vypracoval Ing. Pavel Háša, EXCON a.s.
- [11] Montážní výkresy Hala SO 14 Tachov (Půdorys spodní pás, Půdorys střechy, Pohled, Příčný řez), vypracoval PKD s.r.o
- [12] Ocelové konstrukce – Tabulky, Tomáš Vraný, František Wald, ČVUT 2005

10.3. Další zdroje

- [13] <http://homel.vsb.cz/~ros11/>
- [14] <http://www.cbprofil.cz>

10.4. Použité programové vybavení

- MS Office 2010
- SCIA Engineer 2008
- Auto CAD 2006
- Aplikace Malování

11. Seznam tabulek a obrázků

11.1. Seznam tabulek

Tab. 1: Výpočet zatížení střešního pláště.....	- 10 -
Tab. 2: Výpočet užitého zatížení.....	- 11 -
Tab. 3: Zatížení sněhem	- 13 -
Tab. 4: Zatížení větrem	- 17 -
Tab. 5: Vzpěrné délky prutů příhradových vazníků.....	- 20 -
Tab. 6: Určení vzpěrných délek $L_{cr,y}$ (v rovině)	- 21 -
Tab. 7: Posouzení prutů vazníku – tažené pruty	- 22 -
Tab. 8: Určení křivky vzpěrnosti.....	- 23 -
Tab. 9: Průřezové charakteristiky prutů	- 24 -
Tab. 10: Součinitel vzpěru χ_y	- 25 -
Tab. 11: Posouzení prutů vazníku na tlakové namáhání.....	- 26 -
Tab. 12: Hodnoty součinitelů C_1 a C_2	- 27 -
Tab. 13: Interakční součinitel.....	- 30 -
Tab. 14: Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my}	- 31 -
Tab. 15: Přiřazení křivky vzpěrnosti	- 33 -
Tab. 16: Posouzení prutů vazníku – tažené pruty	- 41 -
Tab. 17: Součinitel vzpěru χ	- 43 -
Tab. 18: Posouzení prutů vazníku na tlakové namáhání.....	- 44 -
Tab. 19: Výpis kombinací zatěžovacích stavů bez zatížení teplotou.....	- 66 -
Tab. 20: Výpis kombinací zatěžovacích stavů s teplotním zatížením.....	- 68 -

11.2. Seznam obrázků

Obr. 1: Příklad průřezu profilu - profil HEA 200	- 4 -
Obr. 2: Profil čtvercové trubky	- 5 -
Obr. 3: Zatížení teplotou na ocelovou halu	- 6 -
Obr. 4: 3D model konstrukce haly	- 7 -
Obr. 5: Stálé zatížení od tíhy střešního pláště	- 11 -
Obr. 6: Užité zatížení pod střechou	- 12 -

Obr. 7: Uspořádání zatížení navátým i nenavátým sněhem	- 13 -
Obr. 8: Zatížení sněhem	- 13 -
Obr. 9: Označení ploch u svislých stěn	- 15 -
Obr. 10: Označení ploch u plochých střech	- 16 -
Obr. 11: Rozložení oblastí na střeše pro příčný a podélný vítr	- 18 -
Obr. 12: Zatížení větrem	- 18 -
Obr. 13: Zatížení větrem na jednom z vazníků	- 19 -
Obr. 14: Označení prutů vazníku	- 21 -
Obr. 15: Příklad průběhu normálových sil na diagonále D4 (tah)	- 26 -
Obr. 16: Příklad průběhu normálových sil na dolním pásu (tah)	- 26 -
Obr. 17: Průběh normálových sil horního pásu.....	- 30 -
Obr. 18: Maximální normálové síly a ohybový moment M_y na horním pásu.....	- 31 -
Obr. 19: Normálové síly na horních rozpěrných prutech (bez vlivu ochlazení)	- 34 -
Obr. 20: Normálové síly na dolních rozpěrných prutech (bez vlivu ochlazení)	- 35 -
Obr. 21: Místo posuzovaného spoje	- 36 -
Obr. 22: Detail posuzovaného spoje (horní pás - rozpěrná trubka)	- 37 -
Obr. 23: Detail spoje dolní pás – rozpěrná trubka.....	- 38 -
Obr. 24: Zatížení ochlazením konstrukce o $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$	- 39 -
Obr. 25: Označení prutů vazníku	- 40 -
Obr. 26: Příklad průběhu normálových sil na dolním pásu (tah)	- 40 -
Obr. 27: Příklad průběhu normálových sil na dolním pásu (tah)	- 41 -
Obr. 28: Průběh normálových sil na diagonál D3 (tah)	- 42 -
Obr. 29: Příklad částí průběhů normálových sil na vazníku	- 43 -
Obr. 30: Příklad částí průběhů normálových sil na vazníku	- 44 -
Obr. 31: Normálové síly a maximální ohybový moment M_y na horním pásu.....	- 47 -
Obr. 32: Průběh normálových sil horního pásu.....	- 47 -
Obr. 33: Maximální ohybový moment M_z na horním pásu třetího vazníku.....	- 49 -
Obr. 34: Detail normálové síly horního pásu třetího vazníku	- 49 -
Obr. 35: Normálové síly horních podélných ztužidel (s vlivem ochlazení).....	- 52 -
Obr. 36: Normálové síly dolních podélných ztužidel (s vlivem ochlazení).....	- 54 -
Obr. 37: Kritický spoj mezi rozpěrnou trubkou a vazníkem.....	- 54 -
Obr. 38: Detail posuzovaného spoje rozpěrná trubka - vazník	- 55 -

Obr. 39: Ohybové momenty M_z na horních pásech ($M_{z,max} = 1,6 \text{ kNm}$)	- 57 -
Obr. 40: Ohybové momenty M_z na horních pásech ($M_{z,max} = -0,8 \text{ kNm}$)	- 58 -
Obr. 41: Ohybové momenty M_z na dolních pásech ($M_{z,max} = -0,3 \text{ kNm}$)	- 58 -
Obr. 42: Ohybové momenty M_z na dolních pásech ($M_{z,max} = -0,1 \text{ kNm}$)	- 59 -
Obr. 43: Normálové síly v horních rozpěrných prutech ($N_{max} = -72,62 \text{ kN}$)	- 60 -
Obr. 44: Normálové síly v horních rozpěrných prutech ($N_{max} = 35,94 \text{ kN}$)	- 60 -
Obr. 45: Normálové síly v dolních rozpěrných prutech ($N_{max} = 6,32 \text{ kN}$)	- 61 -
Obr. 46: Normálové síly v dolních rozpěrných prutech ($N_{max} = 0,97 \text{ kN}$)	- 61 -
Obr. 47: Podélná deformace horních pásů vazníků s teplotním zatížením	- 62 -
Obr. 48: Podélná deformace horních pásů vazníků bez teplotního zatížení)	- 63 -
Obr. 49: Příčná deformace horních pásů vazníků s teplotním zatížením)	- 63 -
Obr. 50: Příčná deformace horních pásů vazníků bez teplotního zatížení)	- 64 -
Obr. 51: Normálové síly na diagonálách D1 bez teplotního zatížení	- 68 -
Obr. 52: Normálové síly na diagonálách D2 bez teplotního zatížení	- 68 -
Obr. 53: Normálové síly na diagonálách D3 bez teplotního zatížení	- 69 -
Obr. 54: Normálové síly na diagonálách D4 bez teplotního zatížení	- 69 -
Obr. 55: Normálové síly na diagonálách D5 bez teplotního zatížení	- 69 -
Obr. 56: Normálové síly na diagonálách D6 bez teplotního zatížení	- 70 -
Obr. 57: Normálové síly na vertikálách V1 bez teplotního zatížení	- 70 -
Obr. 58: Normálové síly na vertikálách V2 bez teplotního zatížení	- 70 -
Obr. 59: Normálové síly na vertikálách V3 bez teplotního zatížení	- 71 -
Obr. 60: Normálové síly na vertikálách V4 bez teplotního zatížení	- 71 -
Obr. 61: Normálové síly na vertikálách V5 bez teplotního zatížení	- 71 -
Obr. 62: Normálové síly na vertikálách V6 bez teplotního zatížení	- 72 -
Obr. 63: Normálové síly na dolním pásu bez teplotního zatížení	- 72 -
Obr. 64: Normálové síly na horním pásu bez teplotního zatížení	- 72 -
Obr. 65: Ohybové momenty M_y na horním pásu bez teplotního zatížení	- 73 -
Obr. 66: Normálové síly na diagonálách D1 s teplotním zatížením	- 73 -
Obr. 67: Normálové síly na diagonálách D2 s teplotním zatížením	- 73 -
Obr. 68: Normálové síly na diagonálách D3 s teplotním zatížením	- 74 -
Obr. 69: Normálové síly na diagonálách D4 s teplotním zatížením	- 74 -
Obr. 70: Normálové síly na diagonálách D5 s teplotním zatížením (tlak)	- 74 -

Obr. 71: Normálové síly na diagonálách D5 s teplotním zatížením (tah).....	- 75 -
Obr. 72: Normálové síly na diagonálách D6 s teplotním zatížením	- 75 -
Obr. 73: Normálové síly na vertikálách s teplotním zatížením.....	- 75 -
Obr. 74: Normálové síly na dolním pásu s teplotním zatížením.....	- 76 -
Obr. 75: Normálové síly na horním pásu s teplotním zatížením.....	- 76 -
Obr. 76: Ohybové momenty M_y na horním pásu s teplotním zatížením.....	- 76 -